Untersuchungen

über den

Stoffwechsel der Muskeln,

ausgehend vom Gaswechsel derselben.

Von

Dr. Ludimar Hermann,

Privatdocent an der Universität zu Berlin.

BERLIN 1867.

Verlag von August Hirschwald.

Unter den Linden 68.

Den Herren

E. du Bois-Reymond

und

W. Kühne,

den Begründern der physiologischen Muskelchemie,

vom Verfasser zugeeignet.

Vorwort.

Die hier vorliegenden Untersuchungen, welche mich mit einigen Unterbrechungen die letzten zwei Jahre beschäftigt haben, sind mit gütiger Erlaubniss des Herrn Professor du Bois-Reymond, welchem ich meinen innigsten Dank dafür abstatte, im physiologischen Laboratorium der hiesigen Universität angestellt.

Ursprünglich nur darauf ausgehend die Frage zu entscheiden ob und durch welche Mittel sich aus dem Muskel Sauerstoffgas gewinnen lasse, bin ich nach und nach dazu geführt worden, fast alle auf die Gase und den Gaswechsel der ausgeschnittenen Muskeln bezüglichen Fragen einer erneuten Experimentaluntersuchung zu unterziehen, und bin dabei zu Resultaten gekommen, welche mir auf den wesentlichen chemischen Process in den Muskeln neues Licht zu werfen schienen. Als einfachster Ausdruck aller Befunde ergab sich eine Vorstellung, welche zwischen Festgestelltem und Hypothetischem auf der Grenze steht. Mein sehnlichster Wunsch ist, dass es bald gelingen möge, durch Reindarstellung der von mir angenommenen Substanz, auf deren Dasein im Mus-

kel Alles hindeutet, über die Richtigkeit jener Vorstellung endgültig zu entscheiden.

In Bezug auf die Darstellung habe ich nur zu bemerken, dass ich der leichteren Uebersicht halber nicht den chronologischen Gang meiner Untersuchungen zu Grunde gelegt habe und dass aus demselben Grunde die (auf das Nothwendigste beschränkten) numerischen Mittheilungen an das Ende verwiesen worden sind.

Berlin, im December 1866.

L. Hermann.

Inhalt.

Seite

1. Abschnitt. Der Gasgehalt ausgeschnittener Froschmuskeln . . 1
   1. Apparat 2
   2. Präparation und Einführung der Muskeln in den Apparat . 5
   3. Die Gase des Muskelschnees 7
   4. Die Gase des thätigen Muskels 18

2. Abschnitt. Der Gaswechsel ausgeschnittener Muskeln in sauerstoffhaltigen Gasmischungen 28
   1. Der Gaswechsel ausgeschnittener ruhender Muskeln (entblutet) 32
   2. Der Gaswechsel ausgeschnittener thätiger Muskeln (entblutet) 39

3. Abschnitt. Der Einfluss der den ausgeschnittenen Muskel umgebenden Atmosphäre auf dessen Erregbarkeit 43

4. Abschnitt. Folgerungen und weitere Versuche zur Physiologie des Muskels 57
   1. Die Sauerstoffaufnahme des ausgeschnittenen Muskels . . . 57
   2. Der Zustand des Sauerstoffs im Muskel 61
   3. Die Kohlensäurebildung im ausgeschnittenen Muskel . . . 62
   4. Natur der chemischen Processe im ausgeschnittenen Muskel 65
   5. Die chemischen Processe im Muskel des lebenden Thieres . 78
   6. Die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung des Muskels im Organismus und des Gesammtorganismus . . . 93

Seite

Anhang zum 4. Abschnitt 101
1. Die verschiedenen Arten der Muskelstarre 101
2. Zur Lehre von den Blutgasen 103

Numerische Versuchsergebnisse zum ersten und zweiten Abschnitt . . 108
Vorbemerkungen 108
1. Reihe. Entgasungsversuche 110
2. Reihe. Respirationsversuche 121

Berichtigungen.

Seite 32 ist in der Ueberschrift hinter „ausgeschnittener" einzuschalten: „ruhender".
„ 35, Zeile 7 von unten, ist hinter „Fuss" einzuschalten: „im Tarsometatarsalgelenk".

1. Abschnitt.

Der Gasgehalt ausgeschnittener Froschmuskeln.

Der Entgasung ausgeschnittener Muskeln stellen sich von vorn herein so grosse Schwierigkeiten entgegen, dass man diese Aufgabe als eine hoffnungslose zu betrachten geneigt sein könnte. Die Ueberwindung derselben gelingt nur annähernd; immerhin aber in dem Maasse dass sich wohlbegründete Schlüsse aus einer genügend variirten Versuchsreihe ziehen lassen.

Die erste Schwierigkeit besteht darin dass der Muskel als Gewebe die in ihm enthaltenen Gase nur sehr schwer abgeben kann, da sie sich in den Maschen desselben fangen müssen. Um also auch nur annähernd eine so prompte Entgasung wie bei einer Flüssigkeit zu ermöglichen ist eine sehr feine Zerkleinerung des Gewebes nöthig. Diese aber ist unvermeidlich verbunden mit einem nahezu vollständigen Verlust der Lebenseigenschaften des Muskels, selbst wenn sie unter den günstigsten Umständen erfolgt. Ebenso ist das zweite wesentliche Mittel für die vollständige Entgasung, die Erwärmung, unvereinbar mit der Erhaltung des Lebens, da ja alle Muskeln bei 40—50° augenblicklich, bei wenig niedrigeren Temperaturen aber wenigstens sehr schnell absterben.

Eine zweite Schwierigkeit liegt in dem Umstande dass der Gasgehalt des lebenden, ja selbst des todten Muskels sich beständig

verändert, wenn man nicht sehr niedrige oder sehr hohe Temperaturen oder conservirende Substanzen (starke Salzlösungen, Säuren) auf ihn wirken lässt. Alle diese Einflüsse sind aber unverträglich mit der Erhaltung der vitalen Eigenschaften.

Endlich drittens findet im Muskel fast unter allen Umständen eine Säurebildung statt, welche speciell die Aufgabe erschwert in Betreff der entleerten Kohlensäure die Frage zu entscheiden ob dieselbe nur durch die Einwirkung des Vacuums oder durch Säure ausgetrieben sei.

Zu diesen in der Natur des zu entgasenden Körpers liegenden Schwierigkeiten gesellen sich noch andere, technische hinzu. Während man Blut direct aus der Ader in ein bereits vorhandenes Vacuum einströmen lassen und in diesem wägen kann*), muss man die Muskeln zuerst abpräpariren und wägen, wobei sie unvermeidlich mit Luft in Berührung kommen, und kann sie nicht in ein schon vorgebildetes Vacuum einführen. Der Raum in welchen man sie einfüllt, muss ferner mit einer Flüssigkeit erfüllt sein, in welcher man die Muskeln auskocht, und zwar wie eine einfache Ueberlegung zeigt mit einer solchen in der die Muskeln untersinken.

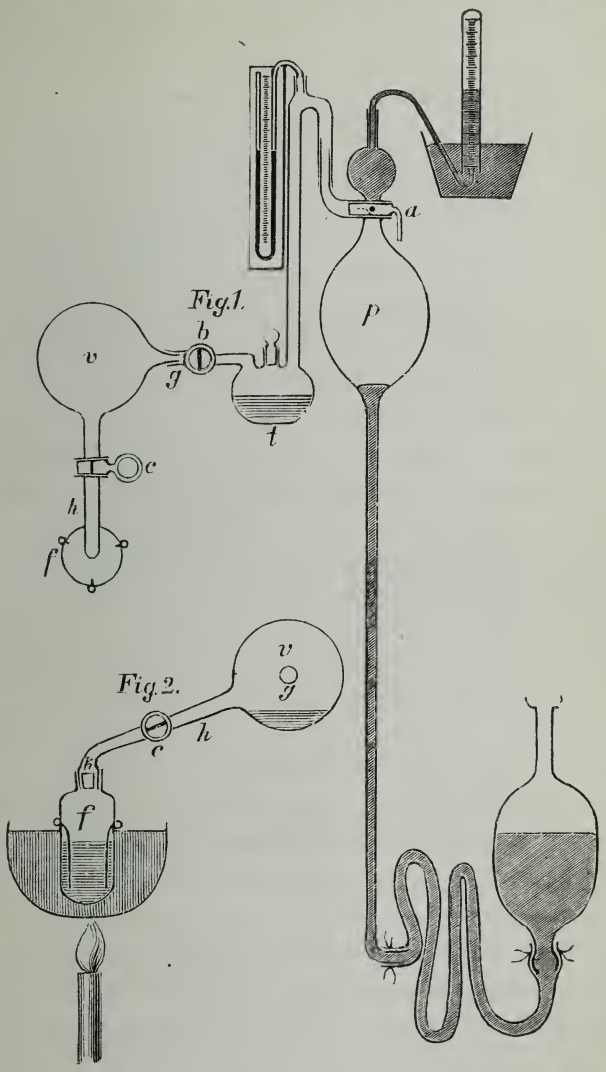
Die folgende Darstellung der Methoden wird zeigen in wie weit es mir möglich gewesen ist, die erwähnten Schwierigkeiten theils zu beseitigen, theils ihren Einfluss indirect zu eliminiren.

1. Apparat.

Nach mannigfaltigen vergeblichen Versuchen, mit einfacheren Apparaten Muskelgase zu gewinnen, wandte ich mich bald nach dem Bekanntwerden der ersten *Pflüger*'schen Mittheilung zu der *Geissler*schen Quecksilberpumpe, von der ich ein vorzügliches Exemplar aus der Hand des Herrn *Ch. F. Geissler* in Berlin im Sommer 1865 erhielt. Die nebenstehende Zeichnung stellt dieselbe sammt dem von mir für

*) Vgl. Pflüger, Ueber die Kohlensäure des Blutes. Bonn 1864. Derselbe, Untersuchungen aus dem physiolog. Labor. in Bonn. 1865. S. 183 bis 188. Pokrowsky, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1866. S. 241 und Virchow's Archiv XXXVI. S. 482.

die Muskelentgasung benutzten Anhangsapparate schematisch dar. Der letztere besteht aus dem Schaumgefäss v und der Kochflasche f.



Der eine kurze Hals g der Schaumkugel passt in den Endschliff der Pumpe, der zweite lange Hals h, der zu g rechtwinklig steht, ist von

dem Hahn *c* unterbrochen, sein Ende ist wie Fig. 2. zeigt, fast rechtwinklig gegen die Ebene der beiden Hälse umgebogen und in die weite (18 cm.) Mündung der Kochflasche eingeschliffen. Letztere ist an drei Stellen von eingeschmolzenen Platindrähten durchbohrt, die fast auf den (abgerundeten) Boden reichen.

Durch Drehung von *g* in seinem Schliff kann man jederzeit sowohl aus *v* in *f* als umgekehrt Flüssigkeit ausfliessen lassen. *v* dient erstens als Vacuum in das zunächst die Gase aus *f* hineinkochen (die Ueberführung nach *p* durch Oeffnen des Hahnes *a* geschieht stets bei geschlossenem Hahn *c*); die hinüberkochende Flüssigkeit wird von Zeit zu Zeit durch Senken von *h* in *f* zurückbefördert; zweitens dient *v* zur Aufbewahrung von Säure (Phosphorsäure), die erst in einem gewissen Stadium des Versuchs in *f* hineinbefördert wird. Das Hineinschlüpfen von Muskeltheilchen aus *f* in *v*, die den Hahn *c* verstopfen könnten, ist durch einen in der Mündung von *h* steckenden Kork *k*, mit longitudinalen Rinnen, vollkommen verhindert.

Die Pumpe ist nur mit einer kleinen, mit Schwefelsäure gefüllten Trockendose *t* versehen, welche, da nie *c* und *b* gleichzeitig offen sind, genügt den Raum von *p* so trocken zu erhalten, dass kein Wasser in das Absorptionsrohr mit den Gasen hinübergelangt.

Die Kochflasche sammt dem anliegenden Theil von *h* bis *c*, und der Bohrung von *c*, fasst excl. des Korks *k* (durch Füllung mit Quecksilber und Wägung desselben ermittelt) 196,7 Ccm. Dieser Raum ist bei jedem Versuch, so oft es sich um vollständige Entgasung handelt, vollständig mit Flüssigkeit erfüllt und der Hahn *c* wird erst nach Leerpumpung von *v* geöffnet.*)

---

*) Eine wesentliche Verbesserung des Apparates was die Bequemlichkeit seiner Anwendung betrifft, würde das Dasein eines Hahnes im Halse h sein. Man könnte dann den Kochapparat von der Pumpe trennen, ohne dass Luft in v eindringt, und hätte nach Wiederanfügung nur den kleinen Raum zwischen diesem Hahn und dem Hahn b zu evacuiren.

2. Präparation und Einführung der Muskeln in den Apparat.

Zu den hier mitgetheilten Versuchen wurden nur die Muskeln entbluteter Frösche (durch Injection von $^1/_2$ procentiger Kochsalzlösung) verwendet. Gewöhnlich dienten zu einem Versuche 3—4 Frösche, von denen nur die Bauchmuskeln, und die Unter- und Oberschenkelmuskeln (hintere Extremität), nicht die des Fusses, zuweilen auch noch die zwischen Steiss- und Darmbeinen liegenden Muskeln verwendet wurden. Sehnen wurden möglichst ausgeschlossen. Die Muskelmasse wog in den verschiedenen Versuchen 16—50 grm.

Die Vorbereitung und Einführung der Muskeln war wesentlich verschieden, je nachdem es sich um blosse Ermittelung ihres Gasgehalts oder um Ermittelung von Veränderungen desselben unter dem Einfluss vitaler Vorgänge, namentlich Contraction handelte.

Die Versuche ersterer Art, bei weitem die Mehrzahl, geschahen mit Auskochung möglichst zerkleinerter Muskelsubstanz in $^1/_2$ procentiger Kochsalzlösung.

Bei der Zerkleinerung der Muskeln strebte ich danach, die normale Zusammensetzung derselben möglichst zu erhalten. Das natürlichste Mittel hierzu schien das von *Kühne* erfundene, Zerkleinerung in hart gefrorenem Zustande*). Die Frösche wurden gleich nach der Ausspritzung in die Kälte gebracht, dann die Muskeln im Groben abpräparirt, auf einer Uhrschale gewogen, und auf dieser in eine Kältemischung gestellt und auch von oben mit einer eine Kältemischung enthaltenden Schale fast in Berührung gebracht. Nachdem sie zu einem festen Klumpen gefroren waren, wurden sie mit kalt gehaltenen Messern fein zerschnitten und zerschabt, in einer kalten Reibschale zerrieben und sofort in die auf 0^0 abgekühlte Kochsalzlösung gebracht, auf der sie anfangs schwimmen, dann aber durch Aufthauen untersinken, während der Entgasung, mit Gasblasen bedeckt, wieder aufsteigen und endlich nach vollendeter Entgasung wieder untersinken.

---

*) W. Kühne, Untersuchungen über des Protoplasma und die Contractilität. Leipzig 1864. S. 3.

Die Kochsalzlösung wurde entweder gashaltig oder gasfrei verwendet. Im ersteren Falle wurde sie nach Einführung der Muskeln (bei 0^0) mit Luft geschüttelt und dann erst der Kochapparat mit ähnlich behandelter Lösung vollends gefüllt. Von den gewonnenen Gasen wurde dann der (nach einer Reihe besonderer Bestimmungen) berechnete Gasgehalt der Lösung in Abzug gebracht. Gasfreie Lösung verschaffte ich mir Anfangs nach der *Bunsen*'schen Methode*) durch Auskochen über freiem Feuer, Herstellung der Concentration durch kochendes Wasser, und Einschmelzen in ausgezogene Medicinflaschen. Später aber kochte ich die Lösung unmittelbar vor dem Versuche (während die Muskeln gefroren) in meinem Apparate im Vacuum aus, und dies Verfahren diente bei den meisten Versuchen.

Auch beim Einführen des Muskelschnees habe ich verschiedene Methoden erprobt, und schliesslich die einfachste die beste gefunden. Zuerst wurde die mit Quecksilber gefüllte in der Quecksilberwanne umgestürzte Kochflasche *f* von unten her aus der zugeschmolzenen Medicinflasche mit der Lösung gefüllt, in diese ebenfalls von unten her die Muskeln eingeführt, und die Verbindung mit dem mit Quecksilber gefüllten Halse *h* unter Quecksilber bewerkstelligt. Aehnlich geschah, bei Auskochung der Lösung in der Flasche, die Oeffnung des Schliffes, die Einführung der Muskeln, und die Wiedereinfügung des Schliffs unter Quecksilber. Dies Verfahren ist aber unpractisch, weil beim Einführen von Muskelschnee durch das Quecksilber Luftblasen unvermeidlich in die Lösung mit eindringen, die nicht wieder entweichen können und das vorherige Auskochen der Lösung vergeblich machen. Schliesslich verfuhr ich einfach so, dass ich den Muskelschnee in die unmittelbar vorher geöffnete, bis an den Rand mit ausgekochter (resp. unausgekochter) 0^0 kalter Lösung gefüllte, aufrecht stehende Kochflasche schnell einführte, so dass die Lösung fortwährend überfloss. Etwa mit eindringende Luftblasen entweichen dann von selbst wieder nach oben, und die mit ihnen und mit der Atmosphäre in Berührung gewesenen Flüssigkeitsschichten gehen durch Ueberlaufen

*) Bunsen, Gasometrische Methoden. Braunschweig 1857. S. 151.

verloren und sind somit unschädlich. Bei einiger Uebung und mit einfachen bald sich ergebenden Handgriffen gelingt es leicht, schnell den Raum *f*, *h* bis *c* und die Bohrung von *c* ganz und gar mit Muskelschnee und 0^0 kalter Lösung ohne ein sichtbares Luftbläschen gefüllt zu erhalten. Jetzt wird noch durch *g* etwas verdünnte Phosphorsäure in *v* eingeführt, *g* mit der Pumpe verbunden, und nun *v* evacuirt, während *f* in Eis- oder Schneewasser auf 0^0 erhalten wird. Der ganze Versuch von der Ergreifung der Frösche bis zur vollendeten Evacuation von *v* (also Ausspritzung, Präparation, Wägung, Gefrieren der Muskeln [während dessen: Auskochen der Lösung], Zerkleinerung, Einführung, und Evacuirung von *v*), dauert ohne Assistenz etwa 2 Stunden. Während dieser Zeit sind die Muskeln nur zur Zeit der Ausspritzung selbst, also nur wenige Minuten, einer höheren Temperatur als 0^0 ausgesetzt.

Ueber die Behandlung der Muskeln um sie in lebendem Zustande zu entgasen s. unten.

3. Die Gase des Muskelschnees.*)

1. Wenn man Muskelschnee in eben beschriebener Weise in 0^0 kalte gasfreie Lösung eingeführt und *v* evacuirt hat, und nun den Hahn *c* öffnet, während man die Temperatur von 0^0 erhält, so entwickelt sich lange Zeit hindurch keine Spur von Gas, nach einigen Stunden beginnt eine äusserst spärliche Gasentwicklung, die aber keine messbaren Quantitäten liefert; Säurezusatz vermehrt diese Entwicklung nicht.

Die Ursache dieses Mangels an Gasentwicklung kann entweder liegen in dem Mangel an Gasgehalt überhaupt, oder in der Unmöglichkeit des Entweichens der Gase, so lange die Temperatur nur 0^0 beträgt.

Pflüger hat zwar aus Blut bei 0^0 den grössten Theil seines Gasgehaltes entleert; allein er benutzte einen Trockenapparat, der mit ungemeiner Geschwindigkeit Wasserdampf absorbirte. Die Folge

*) Das Folgende sind die Resultate einer sehr grossen Anzahl von Versuchen, von denen nur einige hinten wiedergegeben sind.

hiervon muss offenbar ein beständiges Kochen der Flüssigkeit sein, da die Dämpfe auf der einen Seite beständig condensirt werden, auf der andern also neu entstehen müssen; dies beständige Kochen, das vergleichbar ist dem Kochen des Aethers in dem einen Schenkel des *Daniell*'schen Hygrometers*) wirkt offenbar befördernd auf die Entbindung der Gase ein; wie wirksam aber jede mechanische Beförderung für die Entgasung ist, lehren alle Entgasungsversuche, unter Andern auch der Umstand dass *Pflüger* durch Schütteln die Entgasung bei 0^0 noch weiter treiben konnte als ohne dasselbe.

Eine Bedingung für die Gasentleerung bei 0^0 ist also Kochen der Flüssigkeit, und diese Bedingung wird noch wichtiger wenn die Gase in einem auch noch so fein zerkleinerten Gewebe sich befinden.

Die *Pflüger*'schen Trockenapparate zu diesem Zwecke anzuwenden, verbot sich bei meinem Vorhaben von selbst, weil dieselben eine immer steigende Concentration der Kochsalzlösung mit sich gebracht hätten, und so die Aufgabe den Muskel in möglichst indifferenter Flüssigkeit zu untersuchen ungelöst geblieben wäre. Ausserdem aber lehren die Resultate *Pflüger*'s, dass auch das Kochen bei 0^0 eine vollständige Entgasung des Blutes nicht gestattet; um so weniger ist dieselbe bei den Muskeln zu erwarten.

Es blieb also nichts anderes übrig, als höhere Temperaturen als 0^0 zu benutzen. Da man bei diesen Temperaturen eine unverändert bleibende Zusammensetzung der Muskelsubstanz nicht mehr annehmen kann, so würde also die Frage ungelöst bleiben, ob und welche Gase der Muskelschnee einschliesst; indessen wird weiterhin sich eine indirecte Beantwortung auch dieser Frage ergeben.

Wenn man nun die Kochflasche von 0^0 auf höhere Temperaturen bringt, so beginnt sofort Kochen des Inhalts und eine merkliche Gasentwicklung, die jederzeit durch Wiederabkühlen auf 0^0 unter-

---

*) Was im Daniell'schen Hygrometer die künstliche Abkühlung der einen Kugel bewirkt, nämlich beständige Condensation von Dämpfen, bewirkt hier der Trockenapparat. — Die Möglichkeit der Entgasung bei 0^0 ist ein Vortheil des Pflüger'schen Trockenapparats, welchen spätere Beurtheiler desselben nicht gewürdigt zu haben scheinen.

brochen werden kann. Je wärmer die Flüssigkeit wird, um so stärker ist die Gasentwicklung.

2. Bringt man die Flüssigkeit auf eine nur wenig erhöhte Temperatur (5—15°) so erreicht die sehr spärliche Gasentwicklung kein deutliches Ende. Setzt man zu einer beliebigen Zeit (durch Neigen des Gefässes) die Säure zu, so wird die Gasentwicklung nicht sichtlich befördert, sondern hört nach kurzer Zeit vollkommen auf; in diesem Zeitpunct entwickelt auch das stärkste Erwärmen kein Gas mehr.

3. Ist die Temperatur etwas höher (20—30°), so zeigt sich eine an Geschwindigkeit zuerst zunehmende und dann fast aufhörende, später aber wieder zunehmende, kein Ende erreichende Gasentwicklung. Säurezusatz im Augenblick des annähernden Verschwindens der Gasentwicklung, ruft diese in unmerklichem Grade wieder hervor, hebt sie aber für später auf.

4. Wird die Temperatur schnell auf 40—50° gebracht, so entwickelt sich ziemlich prompt eine beträchtliche Quantität Gas, die Gasentwicklung lässt nach, beginnt aber nach längerer Zeit wieder, und erreicht kein Ende. Säurezusatz im Augenblick des Nachlasses ruft eine kurze neue Gasentwicklung hervor, verhindert aber die spätere Entwicklung.

5. Säurezusatz bei 0° und Erwärmung mit der Säure bewirkt eine prompte, schnell beendigte und nicht wieder beginnende Gasentwicklung, die aber nur wenig Gas liefert.

6. Wird zu irgend einer Zeit die Erwärmung bis auf 70° getrieben, so hört jede fernere Gasentwicklung auf, nur Säurezusatz liefert noch eine geringe Menge.

Die Muskeln selbst und die Flüssigkeit in der sie sich befinden, werden, wenn man die Entgasung unterbricht, und ebenso nach vollendeter Entgasung stets sauer gefunden; die Muskeln selbst sind stärker sauer als die Flüssigkeit (vorausgesetzt, dass nicht Säurezusatz stattgefunden hat). Nimmt man die Muskeln zur Zeit der zweiten Gasentwicklung (bei höheren Temperaturen schon nach 24 Stunden) heraus, so haben sie einen intensiv fauligen Geruch, der immer

stärker wird; auch die zu dieser Zeit entleerten Gase haben einen stinkenden Geruch, und schwärzen die Oberfläche des Quecksilbers; ihre Menge ist jetzt sehr beträchtlich. Auch zu dieser Zeit habe ich die Reaction stets sauer gefunden. Die Flüssigkeit ist trübe und wimmelt von Vibrionen. Der Geruch nach flüchtigen Fettsäuren ist überwiegend. Lässt man eine Quantität der Flüssigkeit an der Luft stehen, so verliert sich allmählich der üble Geruch und es bleibt ein hefenartiger Geruch zurück. — War Säure zugesetzt, so zeigen die anfangs weissen Muskeln nach einiger Zeit eine gallertige Quellung, wobei sie wieder durchscheinend werden (Säurealbuminat); Fäulnisserscheinungen treten nicht auf.

Die Messung und Untersuchung der bei diesen verschiedenen Behandlungsweisen gewonnenen Gase ergiebt folgendes*):

1. Die bei den Versuchen ad 2—6 bis zum Aufhören der ersten Gasentwicklung, event. nach Zusatz von Säure erhaltenen Gesammtgasmengen schwanken (auf 0^0 und 1 Meter Quecksilberdruck reducirt) zwischen 1 und 15 Volumprocent der angewandten Muskeln.

2. Sauerstoffgas ist, sobald gasfreie Kochsalzlösung verwandt worden ist, nie in den Gasgemengen vorhanden. Auch bei Verwendung lufthaltiger Kochsalzlösung**) findet sich entweder kein oder ein geringerer Sauerstoffgehalt als er in der Lösung enthalten war, in dem Gase***).

3. Stickstoffgas ist jedesmal, auch bei Anwendung luftfreier Kochsalzlösung, in dem Gase enthalten. Die Menge desselben ist in den ersten Portionen am grössten, die mittleren Portionen sind ganz frei davon, die späteren enthalten wieder steigende Mengen (s. sub 5).

4. Die Hauptmasse des Gases ist stets Kohlensäure; die mittleren Portionen bestehen aus völlig reiner Kohlensäure.

*) Vgl. Versuch 1, 2. 3, 4, 5, 6, 7.

**) Vgl. Versuch 1.

***) Ich will nicht unerwähnt lassen, dass ich auch die verschiedensten anderen Einwirkungen mit der des Vacuums vereinigt habe, um Sauerstoff aus Muskeln zu erhalten, ohne dass dies je gelungen wäre. Vgl. jedoch Abschnitt 3. unter Stickoxyd.

5. Die Gase der zweiten Gasentwicklung, die ich kurz als Fäulnissgase bezeichnen werde, bestehen höchst überwiegend aus Kohlensäure und Stickstoff. Beigemischt sind sehr geringe Mengen von Schwefelwasserstoff (erkennbar durch den Geruch und durch die Bräunung der Quecksilberoberfläche), ferner Dämpfe von flüchtigen Fettsäuren und flüchtigen Schwefelverbindungen (durch den Geruch glaube ich Schwefelkohlenstoff erkannt zu haben; andere Male roch das Gas sehr ähnlich dem Senföl). Da die Dampftensionen der flüchtigen Substanzen unbekannt sind, so konnten die ursprünglichen Gasmengen nur ungenau bestimmt werden (die berechneten Zahlen sind zu gross, da nur die Tension des Wasserdampfs bei der Druckbestimmung der [feucht gemessenen] Gase zu Grunde gelegt wurde). Die Zusammensetzung der Fäulnissgase verändert sich im Laufe der Fäulniss. Die fractionirten Analysen ergaben *), dass zuerst sich ein Verhältniss von gleichen Volumen Kohlensäure und Stickstoff und später ein solches von 3 Vol. Kohlensäure auf 1 Vol. Stickstoff herstellt. Länger als bis zum 12. Tage (bei Zimmertemperatur) habe ich die Fäulniss nicht verfolgt. Doch würde eine fortgesetzte Untersuchung der Muskelfäulniss auf diesem Wege sicher interessante Resultate ergeben.

Sehen wir vorläufig von den Fäulnissgasen ab, so ergiebt sich, dass man aus den möglichst unverändert aus dem lebenden Zustande in den Entgasungsapparat eingeführten Muskeln hauptsächlich Kohlensäure und geringe Mengen von Stickstoff, aber keinen Sauerstoff gewinnen kann. Der Umstand, dass bei Anwendung gashaltiger Kochsalzlösung nicht der ganze Sauerstoffgehalt derselben wiedergefunden wird, zeigt, dass selbst bei sehr niedrigen Temperaturen eine Sauerstoffverzehrung von Seiten der Muskeln stattfinden kann; dies berechtigt zu der Vermuthung, dass auch die gefundene Kohlensäure nicht ganz in den in den Apparat gebrachten Muskeln vorhanden, sondern zum Theil wenigstens erst während der Entgasung gebildet sei; diese

---

*) Vgl. Versuch 1 und 3.

Frage ist auf dem bisherigen Wege nicht zu entscheiden, da wir wie man sich erinnert gerade bei der Temperatur bei welcher vermuthlich kein Stoffwechsel im Muskel stattfindet, denselben nicht entgasen können.

Ehe wir daher zur Discussion über die Natur der gefundenen Gase schreiten, ist es nöthig festzustellen ob der Muskel wie er aus dem Körper kommt, Gase enthalte. Zu diesem Zwecke wurden Muskeln von entbluteten Fröschen möglichst schnell nach der Tödtung der Thiere abpräparirt und in über freiem Feuer siedende Kochsalzlösung geworfen. In der Schale, in welcher die Kochsalzlösung kocht, befindet sich ein Becherglas, welches nach längerem Kochen (bis zur völligen Entgasung der Lösung) in der Flüssigkeit umgestürzt wird; der obere Theil des Glases füllt sich mit Dampf, und beim Wegnehmen der Flamme sogleich vollkommen mit Flüssigkeit. Die Muskeln werden nun sofort nach dem Hineinwerfen in die Flüssigkeit unter das Becherglas geschoben. (Ihr Gewicht wird dadurch ermittelt, dass das Präparat, dem sie entnommen werden, vorher und nachher gewogen wird). Nimmt man nach dem Einführen der Muskeln die Flamme weg, so füllt sich das Becherglas bis auf einige kleine, beim Abkühlen fast verschwindende Gasbläschen wiederum vollkommen mit Flüssigkeit, die Muskeln haben also keine nennenswerthe Gasmenge während des Kochens entleert.

Hierauf werden die Muskeln in derselben Flüssigkeit durch Zerschneiden und Zerreiben möglichst zerkleinert und mit der Flüssigkeit in die Kochflasche der Gaspumpe gebracht. (Die Reaction ist undeutlich alkalisch.) Es wird nun, nachdem in die Vorlage Phosphorsäure gebracht ist, bei geöffnetem Hahn *c* ausgekocht, und auf die hierbei etwa entleerten Gase aus der Flüssigkeit keine Rücksicht genommen (da dieselbe während des Zerkleinerns mit Luft in Berührung war). Nachdem bei lebhaftem Kochen die Gasentwicklung vollständig aufgehört hat, wird die Säure eingelassen und die jetzt sich entwickelnden Gase aufgefangen. Die Gasentwicklung, welche schnell beendigt ist, liefert nur eine geringe Menge, die fast ganz aus Kohlensäure besteht.

Dieser Versuch*) zeigt, dass frische. unmittelbar der Siedehitze ausgesetzte Muskeln, nach vollständiger Evacuirung, noch mit Hülfe von Säure eine geringe Menge Kohlensäure entwickeln (1,17, in Versuch 9. 1,95 Vprct.)

In einem zweiten derartigen Versuche**) wurde die Zerkleinerung der gebrühten Muskeln in gefrornem Zustande vorgenommen, und jetzt auch die vor dem Säurezusatz entweichenden Gase auf Kohlensäure untersucht um die in dem frisch gebrühten Muskel enthaltene auspumpbare Kohlensäure bestimmen zu können. Es fand sich darin eine Quantität von 2,74 Volumprocent.

Beide Versuche lehren also, dass der möglichst unveränderte frische Muskel eine geringe Menge auspumpbarer und fest gebundener Kohlensäure enthält***).

Dieses Resultat gestattet endlich eine Deutung der vorher beschriebenen Versuche mit Muskelschnee.

Was zunächst den Stickstoffgehalt der Muskeln betrifft, so ergeben (wie bereits angedeutet) Versuche bei denen das sich entwickelnde Gas portionenweise in kleine mit Kalilauge gefüllte Röhrchen geleitet wird, dass ein mittleres Stadium der Entgasung existirt, in welchem das Gas ganz von Kalilauge absorbirt wird, also keinen Stickstoff enthält. Man hat also eine erste und eine zweite Stickstoffabgabe zu unterscheiden uud es liegt nahe die erste einem wirklichen (absorbirten?) Stickstoffgehalt der Muskeln, die zweite aber einem

---

*) Versuch 8.

**) Versuch 9.

***) Es darf übrigens nicht übersehen werden, dass beim Hineinwerfen von Muskeln in siedende Flüssigkeit die innersten Theile sich zuweilen langsam genug erwärmen, um den Process der Wärmestarre durchzumachen (vgl. du Bois-Reymond, über die angeblich saure Reaction des Muskelfleisches. Berliner Monatsberichte 1859 Seite 307); es ist daher mehr als wahrscheinlich, dass ein Theil der gefundenen geringen Kohlensäuremenge nicht dem ganz unveränderten Muskel zukommt, sondern auf Rechnung eines wärmestarr gewordenen Antheils zu setzen ist. Uebrigens ist bei meinen Versuchen stets die Flüssigkeitsmenge sehr gross gewählt worden, um diesen schädlichen Einfluss möglichst zu verkleinern.

leisen Beginn der Fäulniss zuzuschreiben, welche ja wie schon erwähnt Stickstoff liefert, und deren Eintritt wahrscheinlich viel früher durch diese Stickstoffabgabe als durch irgend ein anderes Zeichen sich kundgiebt; wir kommen noch einmal auf diesen Punct zurück.

Der hauptsächlichste und schwierigste Gegenstand unsrer Frage ist aber die Kohlensäure.

Da die Muskeln bekanntlich unter den verschiedensten Umständen Kohlensäure bilden, so entsteht zunächst die Frage, welcher Theil der erhaltenen Kohlensäure in den Muskeln zur Zeit ihrer Entfernung aus dem Körper bereits vorhanden war, und welcher erst durch die verschiedenen mit den Muskeln vorgenommenen Proceduren entstanden ist. Die zweite Frage ist die, ob und wie weit die erhaltene Kohlensäure durch blosse Evacuirung oder durch Säure entbunden worden ist, mit anderen Worten, ob und wie weit sie entweder in auspumpbarem (absorbirt oder locker chemisch gebunden) oder in fest gebundenem Zustande vorhanden war.

Zunächst ist daran zu erinnern, dass selbst unter den günstigsten Umständen stets eine geraume Zeit vergeht zwischen dem Augenblick wo die Muskeln durch das Ausspritzen des Blutes von den normalen Stoffwechselbedingungen abgeschnitten werden, und dem Augenblick, wo (durch starke Abkühlung oder durch Erhitzen auf 100^0) die chemischen Veränderungen in ihnen ganz aufgehoben oder doch auf ein Minimum herabgedrückt werden. In diesem Intervall können die Muskeln eine Quantität Kohlensäure bilden, welche sie im Augenblick der Kreislaufunterbrechung noch nicht enthielten; dies wird selbst dann nicht unmöglich sein, wenn die Muskeln in diesem ganzen Intervall auf nahe 0^0 gehalten wurden, denn wir haben oben gesehen (S. 11), dass ganz kalte Muskeln Sauerstoff verzehren können.

Wir wissen nun durch die Versuche mit Behandlung der Muskeln mit heissen Lösungen, dass in dem möglichst unveränderten Muskel eine kleine Menge (ca. 1,5 pCt.) fest gebundener Kohlensäure und eine etwas grössere Menge (2,74 pCt.) auspumpbarer Kohlensäure enthalten ist. Wir werden im Auge behalten müssen, dass diese kleinen Mengen von Kohlensäure möglicherweise erst postmortal im strengen

Sinne (so wollen wir alle nach Ausspritzung des Blutes in den Muskeln erfolgenden Veränderungen bezeichnen) entstanden sind.

Die Vergleichung der bei diesen Versuchen erhaltenen Kohlensäuremengen mit den aus den nicht gebrühten Muskeln gewonnenen lehrt nun unzweifelhaft, dass letztere in jedem Falle bei weitem grösser sind, dass also der grösste Theil der bei 5—45° entleerten auspumpbaren Kohlensäure erst während des Verfahrens entstanden ist.

Bei den Auspumpungen im Vacuum verweilt der Muskel auf Temperaturen zwischen 5 und 45°. Man weiss dass bei diesen Temperaturen, um so schneller je höher sie sind, der Muskel, namentlich in dem stark zerkleinerten Zustande in dem er sich befindet und nach der vorausgegangenen Schädlichkeit des Gefrierens und des Zerkleinerns (wenn auch bei —10°) der Starre entgegengeht, wobei sich eine freie Säure entwickelt. Diese Säure muss etwa vorhandene fest gebundene Kohlensäure austreiben. Es fragt sich also: ist die erhaltene Kohlensäure, die man ja wie jeder Versuch zeigt, ganz allmählich in kleinen Portionen gewinnt, ursprünglich vorhandene und fest gebundene gewesen, die nur successive durch die entstehende Säure ausgetrieben wird, — oder entsteht die Kohlensäure gleichzeitig mit dem Erstarren und der Säurebildung? Im letzteren Fall kann man weiter fragen: entsteht gleichzeitig mit der Säure fest gebundene Kohlensäure (beispielsweise kohlensaures Natron), die durch die Säure entbunden wird, — oder entsteht neben der freien fixen Säure freie Kohlensäure?*)

Der Umstand nun, dass Zusatz von Phosphorsäure zu keiner Zeit der Gasentwicklung eine merkliche Vermehrung, sondern im Gegentheil bald eine Beendigung derselben bewirkt, lehrt, dass zu keiner Zeit eine erhebliche Menge fest gebundener Kohlensäure

*) Man sieht leicht, dass die letztere Frage nicht müssig ist; vielleicht würde sie aber richtiger so gefasst werden: ist es, da freie Kohlensäure und freie fixe Säure neben einander auftreten, nöthig anzunehmen, dass die fixe Säure in grösserer Aequivalentzahl gebildet wird als Kohlensäure (wenn nämlich ein Aequivalent davon verbraucht wird um Kohlensäure aus einer salzartigen Verbindung auszutreiben)?

in der Muskelmasse nachzuweisen ist. Es kann also nicht die Kohlensäureentwicklung durch Austreibung einer von Anfang an vorhandenen Quantität fest gebundener Kohlensäure durch die sich entwickelnde fixe Säure des erstarrenden Muskels erklärt werden.

Wir haben es also mit einer fortwährenden Neubildung von Kohlensäure zu thun; dass dieselbe mit dem Erstarren des Muskels parallel geht, wird sehr wahrscheinlich gemacht durch den rapiden Ablauf der Entwicklung bei 40—50° (s. oben S. 9), durch die Unmöglichkeit durch höheres Erwärmen eine neue Entwicklung hervorzurufen, endlich durch die Vergleichung der bei verschiedenen Temperaturen überhaupt gelieferten Kohlensäuremengen. Dieselben zeigen nämlich eine ziemlich nahe Uebereinstimmung, wenn man von der zweiten Entwicklung (Fäulniss) absieht*); während aber diese Quantität bei 20—30° in 1—2 Stunden geliefert wird, erhält man sie bei 40—50° in wenigen Minuten. Bei niederen Temperaturen geht dem Eintritt der Fäulniss nicht ein Aussetzen der Gasentwicklung vorher, so dass man höchstens aus dem überhandnehmenden Stickstoff denselben erkennen kann; ich war deshalb ausser Stande, hier die ohne Fäulniss gelieferten Kohlensäuremengen auch nur zu bestimmen.

Wenn also mit grösster Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, dass die Kohlensäurebildung der Entwicklung der Starre vollkommen parallel geht, so ist nur noch die Frage zu entscheiden, ob man neben der Säurebildung die Entwicklung freier Kohlensäure oder die Entstehung einer festen, nur durch die gleichzeitig auftretende Säure sich zerlegenden Kohlensäure-Verbindung anzunehmen habe. Eine solche feste Verbindung ist ja beständig im Muskel nachweisbar. Diese Frage wäre offenbar ohne Weiteres zu entscheiden, wenn man die Menge der sich bildenden fixen Säure bestimmen und mit der

*) Die Gesammtmenge der erhaltenen auspumpbaren Kohlensäure schwankt, wenn man die Versuche auswählt, in denen eine Temperatur von 45—50° erreicht wurde, zwischen 9 und 12 Procent; eine unerklärliche Ausnahme macht Versuch 3. (nur 4,06 pCt.); die Zahl 9—12 stimmt gut überein mit dem Kohlensäuregehalt der vor der Entgasung starr gemachten Muskeln (vgl. Versuch 10, 16, 17, 18). Ueber die fest gebundene Kohlensäure s. unten.

Kohlensäuremenge vergleichen könnte: wenn sich nicht mehr fixe Säure im Muskel findet als einem Aequivalent der entwickelten Kohlensäure entspricht, so hätte man die unmittelbare Bildung freier Kohlensäure anzunehmen. Aber diese Bestimmungen sind vor der Hand unmöglich,*) da man ja nicht einmal sicher die Natur der fixen Säure kennt. Dies ist aber der einzige Weg die Frage zu beantworten. Indess folgende Erwägung lehrt, dass der Gegenstand, der uns überhaupt veranlasst hat, die besprochene Frage aufzuwerfen, nämlich das regelmässige Vorkommen fest gebundener Kohlensäure im Muskel, sich in andrer Weise erledigt, so dass wir dieselbe ganz fallen lassen können. Die Quantität der nur durch Säuren austreibbaren Kohlensäure ist nämlich unter den verschiedensten Bedingungen ausserordentlich constant, während die gleichzeitig vorhandene auspumpbare Kohlensäure den grössten Schwankungen unterliegt. Namentlich zeigen dies die weiter unten anzuführenden Versuche, in denen verschiedene Muskeln desselben Frosches unter verschiedenen Bedingungen entgast werden (Versuch 10, 13, 14, 16, 17). Dies spricht sehr dafür, dass dieser Antheil der Kohlensäure in einer sehr wenig veränderlichen Verbindung enthalten ist, auf die nicht allein die physiologischen Processe im Muskel, sondern überhaupt die freie Säure desselben gar keinen Einfluss hat; denn sonst wäre das Vorhandensein fest gebundener Kohlensäure in den entgasten sauer reagirenden Muskeln gar nicht verständlich, wenn man nicht, wie bereits von Andern angedeutet ist, die saure Reaction als von einem sauren Salze herrührend betrachten will, welches die in Rede stehende feste Kohlensäure-Verbindung nicht zerlegen kann. Es ist am wahrscheinlichsten, dass die nur durch Säurezusatz austreibbare Säuremenge gar nicht dem eigentlichen Muskelinhalt, sondern anderen Geweben angehört. Jedenfalls berechtigt uns aber die vollkommene Unabhängigkeit dieses Kohlensäure-Antheils von physiologischen Zuständen, ihn für die Frage nach dem Auftreten der auspumpbaren

*) Wohlverstanden Bestimmungen der Gesammtmenge der Säure, nicht bloss der freien Säure.

Kohlensäure als unerheblich zu betrachten, womit wir diese Frage verlassen.

Die bisherigen Versuche lehren also in Betreff der Kohlensäure dass der Muskelschnee bereits eine kleine Quantität auspumpbarer und fest gebundener Kohlensäure enthält. Während letztere beim Erwärmen im Vacuum anscheinend unverändert sich erhält, trotz eintretender saurer Reaction der Muskeln, ist die auspumpbare Kohlensäure bei Temperaturen über 0^0 in einer beständigen Zunahme begriffen, die, abgesehen von der Fäulniss, bis zu etwa 12 pCt. der Muskeln gehen kann. Diese Kohlensäurebildung verläuft um so schneller, je höher die Temperatur ist, und am schnellsten bei $45—50^0$.

4. Die Gase des thätigen Muskels.

Wenn schon die bisher mitgetheilten Untersuchungen mit mannigfachen Schwierigkeiten zu kämpfen hatten, so sind dieselben noch viel grösser bei einer Aufgabe, welche die Erhaltung der vollen Erregbarkeit des Muskels voraussetzt, nämlich der Entgasung thätiger Muskeln.

Die bei — 20 bis — 10^0 zerkleinerten Muskeln (Muskelschnee) bilden nach dem Aufthauen eine zwar chemisch wie es scheint noch wenig veränderte Masse, aber selbst die stärksten Inductionsschläge vermögen nur hie und da einen Fetzen in Contraction zu versetzen. Man ist deshalb zunächst auf die Entgasung möglichst unverletzter Muskeln angewiesen, über welche ich einige Erfahrungen den eigentlichen Versuchen vorausschicken werde.

Wirft man, wie ich es in meinen allerersten Versuchen gethan habe, ganze oder grob zerschnittene, gut erregbare Muskeln in gasfreie halbprocentige Kochsalzlösung, so sieht man ziemlich gewöhnlich, namentlich bei dünnen Muskeln (Sartorii), Zuckungen eintreten, die mir zu häufig aufgefallen sind, als dass ich sie auf blosse Wirkung unpassender Concentration der Salzlösung beziehen möchte, auf die ich aber keinen Werth lege, da sie ja immerhin auch beim Einführen in lufthaltige Lösung zuweilen eintreten. Die Erregbarkeit der Muskeln leidet, wenn keine Zuckungen auftreten, nicht nachweisbar durch

die Lösung. Beim Evacuiren (wenn man die Einführung mit den früher beschriebenen Cautelen vorgenommen hat) gewinnt man stets, auch beim Erwärmen, nur äusserst spärliche Gasmengen, während die Muskeln sichtlich durch in ihrem Gewebe auftretende Gasblasen aufschwellen. Erst zur Zeit der Fäulniss wird die Gasentwicklung reichlich. Offenbar geben die Muskeln in unzerkleinertem Zustande ihre Gase nur sehr unvollkommen ab, und diese Versuche sind daher für die Bestimmungen des Gasgehalts ganz unbrauchbar; dass bei der Fäulniss die Gasentwicklung reichlich ist, rührt von der starken Gasbildung, vielleicht auch vom Morscherwerden des Muskels in diesem Zustande her.

Dennoch habe ich zunächst versucht, auf diesem Wege über die Gase des tetanisirten Muskels Aufschluss zu erhalten. Wenn man nämlich annimmt, dass das Muskelgewebe vermöge seines Baues dem Entweichen der Gase einen gewissen Widerstand entgegensetzt, so wird eine plötzliche Vermehrung des Gasgehalts doch bei gleichbleibendem Widerstand eine plötzliche Vermehrung der Gasausgabe zur Folge haben müssen. Wenn man also die im Laufe längerer, untereinander gleicher Zeiträume aus den ruhenden, dann aus den tetanisirten, dann wieder aus den ruhenden Muskeln sich entwickelnden Gase untereinander vergleicht, so werden sich Anhaltspuncte zu Schlüssen ergeben. Nur bei den ersten Versuchen dieser Art wurde das Gesammtgas, welches sich entwickelte, bestimmt und analysirt; diese Aufgabe ist aber mit grossen Umständen und Schwierigkeiten verknüpft: es muss gasfreie Kochsalzlösung angewandt, die Muskeln in die Lösung eingebracht werden, die Füllung bis zum Hahn *c* muss vollständig sein; vor allem aber müssen sehr starke Ströme den eingeschmolzenen Platindrähten zugeleitet werden, damit diese die in der Flüssigkeit befindlichen Muskeln mit genügender Dichtigkeit durchfliessen um sie zu erregen; nie gelingt es alle Muskeln auf einmal zu erregen, und auch wenn man den Gang der Stromescurven in der Flüssigkeit variirt (es sind hierzu drei Platindrähte eingeschmolzen), bleibt doch ein grosser Theil der Muskeln gänzlich unerregt; die enorm starken Inductionsströme sind endlich von einer sichtbaren

electrolytischen Gasentwicklung an den Polen begleitet, welche, wenn sie auch viel unbedeutendere Mengen liefert als es nach dem Anblick im Vacuum scheinen muss, doch die Resultate trübt.

Nachdem daher eine Anzahl von Versuchen ergeben hatte, dass Sauerstoffabgabe auch beim Tetanus niemals, Stickstoffabgabe in nicht andrer Weise als in den früheren Versuchen (s. oben S. 10) stattfindet, die einzige constatirbare Veränderung also die Kohlensäureausgabe betrifft, entschloss ich mich, fortan nur die Kohlensäureabgaben zu vergleichen, womit auf einmal eine ungemeine Erleichterung des ganzen Versuches gegeben ist. Da es nämlich nunmehr auf beigemischte kleine Luftmengen gar nicht mehr ankommt, so war es vor allen Dingen überflüssig, vor der Evacuirung die Flasche bis zum Hahn mit Flüssigkeit zu füllen; es konnten also die Muskeln ohne Flüssigkeit untersucht werden, was für die Tetanisirung von unschätzbarem Vortheil ist. Auf den Boden der Kochflasche kam daher nur eine kleine Menge Flüssigkeit um den Raum derselben stets mit Wasserdampf gesättigt zu halten; auch hierzu diente Kochsalzlösung, da destillirtes Wasser bei dem unvermeidlichen Kochen und Anspritzen an die Muskeln schaden kann. Die Muskeln selbst wurden endlich folgendermassen eingeführt: Die enthäuteten, noch durch das Becken zusammenhängenden Hinterbeine (die Fusszehen abgeschnitten) von zwei bis drei entbluteten Fröschen wurden mit Seidenfäden so an einander gebunden, dass sie eine einzige Kette bildeten. Mittels eines Schlingenträgers wurden zwei Seidenfäden um zwei Platindrähte im Innern der Flasche herumgeführt, an jeden je ein Ende der Beinkette angebunden, nun die Präparate durch die weite Oeffnung der Flasche (die ein Froschbecken noch eben hindurchlässt) in diese eingeführt, die Seidenfäden angezogen, und auf bekannte Weise im Innern der Flasche zusammengeschnürt; es war so jedes Ende der Froschkette mit einer Electrode unverrückbar bis zu inniger Berührung verbunden. Durch Nachhelfen mittels einer Pincette wurden die Schenkel so gelagert, dass der Strom möglichst alle durchlaufen musste (was übrigens nicht sehr wichtig ist, da durch die Erhaltung der Nerven auch die nicht direct durchflossenen Theile meist in Contraction gerathen). Den äusseren Oesen der Platindrähte wurde

der Strom durch Drähte, die in Platinhaken endigen, zugeleitet. Es gelingt so mit Leichtigkeit, einen kräftigen und gleichmässigen Tetanus aller Muskeln schon durch mässige Ströme hervorzurufen. Ich will gleich hier vorausbemerken (vgl. den dritten Abschnitt), dass die Muskeln im Vacuum sehr lange ihre Erregbarkeit behalten.

Nach der Einführung der Schenkel wurde nun zunächst die Kugel sammt der Flasche (Hahn *c* von Anfang an geöffnet) so weit evacuirt, bis sich nur noch sehr kleine Gasmengen entwickelten; diese wurden dann während einer Stunde unter fortwährendem Evacuiren in einem Rohr gesammelt (Portion A.); hierauf wurden eine Stunde lang die Schenkel mittels eines Uhrwerks in regelmässigen Pausen mässig tetanisirt, ebenfalls unter fortwährendem Evacuiren, und auch dies Gas in einem Rohr gesammelt (Portion B.). Endlich wurde noch eine dritte Stunde lang ohne Tetanus evacuirt, und so eine dritte Gasportion C. gewonnen. Die Temperatur wurde in allen drei Zeiträumen constant erhalten. In allen drei Portionen wurde ohne Bestimmung des Volums (sie wurden da sie sehr klein waren, gleich mit Luft versetzt) nur der Kohlensäuregehalt bestimmt. Die Bestimmungen*) zeigen, dass Portion A. am wenigsten Kohlensäure enthält, Portion B. bedeutend mehr, Portion C. enthielt beinahe ebenso viel Kohlensäure wie B., in einem Falle (Versuch 12) sogar noch mehr. Im letzteren Falle waren die Muskeln am Ende des dritten Zeitraums starr und sauer. Diese Versuche zeigen also vorläufig, dass auch aus den im Vacuum befindlichen Muskeln (von den in Luft**) oder im Organismus befindlichen ist es schon lange bekannt) sich während des Tetanus und nach demselben mehr Kohlensäure gewinnen lässt, als durch dieselben Mittel während der Ruhe. Da wir aber unter diesen Umständen stets nur einen Theil der im Muskel wirklich vorhandenen Kohlensäure erhalten, so ist die Frage noch unbeantwortet, ob der Tetanus die Kohlensäure des Muskels wirklich vermehrt, oder ob er nur günstigere Bedingungen für deren

*) Vgl. Versuch 11 und 12.

**) Ueber die hierhergehörigen früheren Angaben und deren Beweiskraft s. den 2. Abschnitt.

Ausscheidung mit sich bringt. Dasselbe gilt von der Vermehrung der Kohlensäureabgabe nach dem Tetanus, die übrigens möglicherweise der sich nach dem 1 stündigen Tetanisiren bei hoher Temperatur ziemlich schnell entwickelnden Starre zuzuschreiben ist.

Ich übergehe nun eine Anzahl von mühsamen Versuchen, welche zum Zweck hatten, den Einfluss von Säurezusatz auf die Kohlensäureentwicklung im Tetanus festzustellen. Es wurden hierzu ähnliche Muskelketten, wie oben, aber mit vollständigem Ausschluss von Knochensubstanz (zur Vermeidung von Kohlensäureentwicklung aus dieser durch den Säurezusatz) präparirt, und vor dem Versuch Phosphorsäure in *v* gebracht. Diese Versuche waren vollständig resultatlos; es liess sich nichts Regelmässiges constatiren.

Ich wandte mich endlich zu einem anderen Verfahren, um die vorliegende Frage zu entscheiden, welches ich gleich in der vollkommensten Gestalt, die es schliesslich nach manchen Abänderungen gewonnen hat, beschreiben will. Der Grundgedanke desselben ist die Vergleichung des Gasgehalts ruhender und tetanisirter Muskeln desselben Thieres; die ersteren sollen möglichst unverändert in dem Zustande in welchem sie sich unmittelbar nach der Entblutung befinden, dabei aber gut zerkleinert, in den Entgasungsapparat gebracht werden, die andern sollen nur dem Einflusse des Tetanus, keinem anderen, ausgesetzt gewesen sein.

Drei bis vier Frösche werden in Schnee eingegraben, bis sie fast erstarrt sind; in diesem Zustande werden sie mit kalt gehaltener Kochsalzlösung entblutet, jedem ein Bein abgeschnitten und in eine grosse Menge lebhaft siedender Kochsalzlösung unenthäutet auf $^1/_4$ Minute hineingeworfen, während der Rest der Frösche auf einer auf Schnee liegenden Platte, zu einer Kette zusammengebunden, ausgebreitet und mehrere Stunden lang mit Uhrwerk in unterbrochenem Tetanus erhalten wird. Die gebrühten Muskeln (neutral reagirend) werden schnell grob abpräparirt, was bei ihrer eigenthümlichen Isolirung sehr schnell von Statten geht, auf einer Uhrschale gewogen, in eine Kältemischung von -20^0 gebracht, nach dem Gefrieren mit kalten Instrumenten zerkleinert, der Muskelschnee in lufthaltige Kochsalz-

lösung von 0^0 gebracht, in die Flasche ohne Rücksicht auf Vollständigkeit der Füllung (da es sich nur um Kohlensäurebestimmung handelt) eingebracht, in die Vorlage *v* Phosphorsäure gegeben, und nun nach Evacuirung von *v* und Oeffnung von *c* die Muskeln bei 50^0 vollständig evacuirt (das Gas für sich gesammelt), darauf nochmals nach Zusatz der Säure evacuirt. Ganz ebenso wird mit den tetanisirten, sauren und nach der Brühung sauer bleibenden Muskeln verfahren, deren Tetanus bei Beendigung der Auspumpung der geruhten Muskeln unterbrochen wird. Ein solcher Versuch dauert, ohne die Gasanalysen, etwa 7 Stunden, d. h. einen ganzen Wintertag.

Wie man sieht, ist bei diesem Verfahren vorausgesetzt: erstens dass bei 0^0 spontan keine Veränderungen im Muskel vor sich gehen, zweitens dass die Brühung momentan jede weitere spontane Veränderung im Muskel unterbricht*), und drittens, dass der kurze Aufenthalt des Muskels in höheren Temperaturen, nämlich Brühung (in der Haut), Abpräpariren (vgl. oben) und Wägung nicht genügend ist um eine merkliche Kohlensäureabgabe an die Luft zu gestatten. Offenbar ist letzteres die schwächste Seite des Verfahrens. Jedoch zeigt die nahe Uebereinstimmung des Kohlensäuregehalts von im Vacuum erstarrten, und von wärmestarren gebrühten Muskeln (s. unten), dass das Verfahren brauchbar ist, wenn man nur aus gröberen Unterschieden im Kohlensäuregehalt Schlüsse zu ziehen beabsichtigt. Diese Versuche**) geben nun ein constantes und bemerkenswerthes Resultat: Während das blosse Auskochen bei den tetanisirten Muskeln eine viel grössere Menge Kohlensäure entwickelt, als bei den nicht tetanisirten, liefert der Säurezusatz bei beiden eine nur geringe, ungefähr gleiche Menge***). Der Gesammtgehalt an Kohlensäure kann durch das Tetanisiren bis 12,08 Volumprocent der Muskeln (das Gas auf 0^0

*) Der S. 13 Anm. angedeutete Uebelstand tritt hier in höherem Maasse ein, da ganze Schenkel, nicht einzelne Muskeln, in die siedende Flüssigkeit geworfen werden. Jedoch ist der dadurch unzweifelhaft bewirkte kleine Fehler bei beiden zu vergleichenden Muskelportionen vorhanden, und kommt für die hier zu ziehenden Schlüsse nicht in Betracht.

**) Versuch 13, 14, 15.

***) Vgl. oben S. 17.

und 1 mtr. Quecksilber reducirt), der Gehalt an auspumpbarer Kohlensäure bis auf 7,66 Vpret. steigen (in Versuch 14).

Dieses Resultat lehrt, dass erstens im Muskel während des Tetanus neue auspumpbare Kohlensäure auftritt, und dass zweitens dies Auftreten auspumpbarer Kohlensäure nicht auf der blossen Entbindung eines bereits vor dem Tetanus vorhandenen fest gebundenen Kohlensäurevorraths durch die beim Tetanus sich entwickelnde fixe Säure, sondern auf wirklicher Neubildung von Kohlensäure während des Tetanus beruht, ein Resultat, zu welchem auf einem ganz anderen Wege bereits *Ludwig & Sczelkow* an den im Kreislauf befindlichen Muskeln der Warmblüter gelangt sind. Es liesse sich weiter nun auch hier, gerade wie bei der Kohlensäurebildung durch die Starre, die Seite 16 erörterte Frage aufwerfen, deren Beantwortung indess hier wie dort vor der Hand unmöglich ist. — Fortan werden wir den Gehalt an fest gebundener Kohlensäure, der sich bei Muskeln desselben Thieres durch die Versuchsbedingungen nie verändert zeigt, als unwesentlich ganz aus der Betrachtung fortlassen.

Eine theoretische Ueberlegung, welche weiter unten (im vierten Abschnitt) zur Erörterung kommen wird, machte es mir wünschenswerth die Grösse des (freien) Kohlensäuregehalts zu vergleichen, welchen ein Muskel durch Tetanus und durch Starre erlangen kann. Der einzige Weg hierzu besteht darin, von zwei Muskeln desselben Thieres, bei der eben besprochenen Behandlung in der Kälte, den einen zu tetanisiren, den anderen ohne Tetanus starr zu machen, beide gleich darauf zu brühen und weiter wie oben zu untersuchen. Leider giebt es kein Mittel einen Muskel augenblicklich im strengeren Sinne des Wortes starr zu machen (denn die Starre durch Säuren ist ein ganz anderer Vorgang als die spontane Starre oder die Wärmestarre, vgl. den vierten Abschnitt); die Behandlung bei 45° erfordert stets einige Minuten, und während dieser Zeit kann leicht ein merklicher Gasverlust stattfinden. Trotzdem blieb mir nichts anderes übrig als diesen Weg zu wählen. Es wurde also wiederum von einer Anzahl erkälteter und entbluteter Frösche je ein Bein in der Kälte stundenlang, jedoch nicht bis zum völligen Verlust der Erreg-

barkeit tetanisirt, und dann gebrüht, das andere bei 45° einige Minuten (in der Haut) behandelt und aus diesem Bade unmittelbar auf $^1/_2$ Minute in lebhaft siedende Lösung geworfen. Die Bereitung und Entgasung des Muskelschnees geschah wie früher. Der so angestellte Versuch ergab, dass trotz des wahrscheinlichen Kohlensäureverlustes der wärmestarren Muskeln und trotzdem dass ein Theil der tetanisirten Muskeln beim Brühen noch durch Wärmestarre Kohlensäure bilden musste (vgl. S. 23 Anm.), die wärmestarren Muskeln doch bedeutend mehr auspumpbare Kohlensäure lieferten, als die selbst stundenlang tetanisirten*). Dies Resultat beweist aber nichts für das quantitative Verhältniss der Kohlensäurebildung beim Tetanus und der beim Erstarren, da ja die tetanisirten Muskeln während des mehrstündigen Tetanus leicht eine Quantität Kohlensäure verloren haben können, obgleich sie während dieser ganzen Zeit auf einer nahe bei 0° liegenden Temperatur gehalten worden sind. Es giebt nun leider kein Mittel diesen Kohlensäureverlust auszuschliessen, und so festzustellen, ob wirklich der Muskel durch Tetanisiren nicht mehr oder soviel Kohlensäure bilden kann wie durch Erstarren. Denn selbst wenn wir die für die Erstarrung bestimmten Parallelmuskeln vor der Erwärmung auf 45° eben so lange wie die tetanisirten bei 0° aufbewahren wollten, wäre der zu eliminirende Einfluss nicht beseitigt, da ja die tetanisirten Muskeln vermuthlich mehr Kohlensäure unter gleichen Bedingungen verlieren als die ruhenden. Halten wir zunächst fest, dass wenn die wirkliche Kohlensäureproduction der tetanisirten Muskeln grösser wäre, als die der erstarrten, der Kohlensäureverlust während des Tetanus grösser sein müsste, als die beobachtete Differenz des Kohlensäuregehalts, also grösser als 3,33 pCt. der Muskeln.

Dass er aber eine solche Grösse nicht haben geschweige überschreiten kann, geht aus einer Versuchsreihe hervor, welche ich zu einem andern Zwecke im Winter $18^{64}/_{65}$ bei starker Kälte auf einem ungeheizten Korridor angestellt habe. Es sollte dabei die Kohlensäure-

*) Versuch 16.

ausgabe in der Kälte tetanisirter Muskeln bestimmt werden (die Froschschenkel befanden sich in durch Quecksilber gesperrten Absorptionsröhren); dies Vorhaben misslang aber, weil die gefundenen Kohlensäuremengen stets so klein waren, dass sie noch innerhalb der Fehlerquellen lagen.

Wir können also schliessen, dass die tetanisirten Muskeln wirklich nicht so viel Kohlensäure producirt haben, wie die erstarrten.

Gehen wir nun zu einer anderen wichtigen Frage über, nämlich der, ob die beim Erstarren producirte Kohlensäuremenge sich ändert je nachdem der Muskel vor der Starre in Ruhe oder Tetanus gewesen ist. Ist die Production in beiden Fällen dieselbe, so muss offenbar der tetanisirte Muskel nach dem Erstarren mehr Kohlensäure enthalten, als der geruhte, da ja vor dem Erstarren der Kohlensäuregehalt des ersteren grösser ist (vgl. S. 23). Das Experiment zeigt aber das Gegentheil. Es geschieht ganz so wie das zuletzt erwähnte, nur mit dem Unterschiede, dass auch die tetanisirte Muskelportion vor dem Brühen einer Temperatur von 45^0 ausgesetzt wird. Zwei derartige Versuche*) ergaben, dass der Kohlensäuregehalt der direct zur Starre gebrachten Muskeln erheblich grösser ist als der der zuvor tetanisirten.

Das Erstarren tetanisirter Muskeln producirt also weniger Kohlensäure als das nicht tetanisirter.

Aus dem eben gewonnenen Resultat lässt sich aber noch ein interessanter Schluss ziehen: Der Kohlensäuregehalt der tetanisirten und dann zur Starre gebrachten Muskeln setzt sich zusammen aus: 1) dem Kohlensäuregehalt im Augenblick der Entblutung a, 2) der während des Tetanus gebildeten Kohlensäuremenge b, von welcher aber ein kleiner Theil v während des Tetanus an die Luft abgegeben ist, 3) der beim Erstarren gebildeten Kohlensäuremenge c. Die Summe ist also $a + b + c - v$. Der Kohlensäuregehalt der direct zur Starre gebrachten Portion besteht aus: 1) dem Gehalt bei der Entblutung a und 2) der beim Erstarren producirten Menge d. Es

*) Versuch 17 und 18.

ist nun wie Versuch 17 und 18 lehren, $a + b + c - v$ kleiner als $a + d$, oder $b + c - v$ kleiner als d. Der Unterschied beträgt in beiden Versuchen etwa 2 pCt. Nehmen wir nun an, dass dies die Grösse von v sei, wobei wir jedenfalls keinen sehr grossen Fehler machen, so ergiebt sich $b + c = d$, d. h. der tetanisirte Muskel bildet beim Erstarren um so viel weniger Kohlensäure im Vergleich zum nicht tetanisirten, als er während des Tetanus bereits gebildet hat. Dies Resultat kann jedenfalls nur sehr wenig von der Wahrheit entfernt sein; seine Verwerthung wird im vierten Abschnitt versucht werden.

Die Hauptresultate dieses ersten Theiles meiner Untersuchungen lassen sich kurz in folgende Sätze zusammenfassen (stets sind entblutete Froschmuskeln zu verstehen):

1. Ausgeschnittene, möglichst unveränderte Froschmuskeln enthalten keinen auspumpbaren Sauerstoff.

2. Sie enthalten kleine, vermuthlich einfach absorbirte Mengen Stickstoff.

3. Sie enthalten geringe Mengen freie und fest gebundene Kohlensäure, letztere wahrscheinlich nicht dem Muskelinhalt angehörig.

4. Durch das allmähliche oder plötzliche Erstarren wird eine bedeutende Menge frei auftretende Kohlensäure im Muskel gebildet.

5. Dasselbe geschieht beim Tetanus des Muskels.

6. Die durch den Tetanus gebildete Kohlensäuremenge erreicht nicht die bei gleichen Muskeln durch die Starre producirbare Menge.

7. Tritt nach dem Tetanus Starre ein, so wird hierbei, im Vergleich zur directen Erstarrung, um so viel weniger Kohlensäure gebildet, als während des Tetanus bereits entstanden ist.

8. Bei der Fäulniss tritt im Muskel eine neue Gasentwicklung, hauptsächlich von Kohlensäure und Stickstoff, in bestimmtem aber im Laufe des Processes sich änderndem Mengenverhältniss auf.

---

2. Abschnitt.

Der Gaswechsel ausgeschnittener Froschmuskeln in sauerstoffhaltigen Gasmischungen.

Die ersten und bekanntesten Versuche über diesen Gegenstand, die sogenannte „Athmung überlebender Froschmuskeln," sind im Jahre 1850 von *Georg Liebig* veröffentlicht worden*). Nach Anführung von unpublicirten Erfahrungen *du Bois-Reymond's*, welcher zuerst 1843 eine Kohlensäureausgabe ausgeschnittener Froschmuskeln constatirt hat, theilt *Liebig* seine eigenen Versuche mit, welche lehren, dass ausgeschnittene Froschmuskeln, gleichviel ob bluthaltig oder entblutet, in Sauerstoff oder Luft Sauerstoffgas aufnehmen und Kohlensäure abgeben, und dass das Letztere auch in sauerstofffreien Gasgemengen geschieht. Seine Versuche geschahen so, dass die Muskeln in einem durch Quecksilber gesperrten Gasraum sich befanden, in welchem durch eine über dem Quecksilber befindliche Schicht von Kalilösung die gebildete Kohlensäure absorbirt wurde. Das Steigen des Quecksilbers im Laufe des Versuchs bewies eine Sauerstoffverzehrung, deren Grösse durch Subtraction des Endvolums vom Anfangsvolum (zur Bestimmung beider wurde jedesmal das Quecksilber aussen und innen auf gleiches Niveau gebracht) sich ergab, da *Liebig* auf Veränderungen des Stickstoffgehalts keine Rücksicht nahm, und also

*) Ueber die Respiration der Muskeln. Müller's Archiv 1850. S. 393-416.

bei seinen Versuchen annahm dass das Volum des verzehrten Sauerstoffs dem der abgegebenen Kohlensäure gleich war. Der Gaswechsel betrug in einem Versuche mit 3 Unterschenkeln (Gewicht nicht angegeben) in Sauerstoff in 17 Stunden bei 24—21° C. 7,337 Ccm. (760 mm. Dr. und 0°); bei 4 Unterschenkeln in Luft in 17 Stunden (vermuthlich ebenfalls bei 24—21°) 8,277 Ccm. In Stickstoff blieb das Volum annähernd unverändert*), ein Versuch ohne Aetzkali zeigte auch hier eine Kohlensäureausgabe, von 0,92 Ccm. (4 Unterschenkel in 2—3 Stunden, bei nicht angegebener Temperatur). Von ausgespritzten Unterschenkeln gaben 4 in Sauerstoff in 6 Stunden einen Gaswechsel von 3,624 Ccm, 4 in Luft in 14 Stunden 6,089 Ccm. Auf quantitative Genauigkeit wollen und können übrigens diese Versuche keinen Anspruch machen, wegen der Mangelhaftigkeit der Volumbestimmung, und wegen fehlender Angabe des Gewichts der Muskeln und der Temperatur. Diese Ergebnisse wurden im Allgemeinen bestätigt durch eine 1855 erschienene Untersuchung von *Valentin***). Das Hauptverdienst dieser Arbeit liegt in dem Hinweis, dass ein ähnlicher Gaswechsel wie den lebenden auch den abgestorbenen und faulenden Muskeln zukommt, dass ferner die Muskeln Stickstoff abgeben, und zwar, wie *Valentin* hauptsächlich aus der beständigen Zunahme der Stickstoffausgabe folgert, vermuthlich erst nachdem die Erregbarkeit erloschen ist.

Nachdem durch diese Versuche jedenfalls sicher festgestellt war, dass ausgeschnittene Muskeln Kohlensäure ausgeben und bei Gegenwart von Sauerstoff auch Sauerstoff aufnehmen, ging *Matteucci* im Jahre 1856 einen Schritt weiter, indem er den Gaswechsel der Muskeln bei der Contraction gegen die Ruhe vermehrt fand***);

---

*) Die Zahl 1,4 auf S. 408, Zeile 11, ist offenbar ein Druckfehler.

**) Ueber die Wechselwirkung der Muskeln und der sie umgebenden Atmosphäre. Archiv f. physiologische Heilkunde XIV. S. 431—478.

***) Recherches sur les phénomènes physiques et chimiques de la contraction musculaire. Ann. d. chimie et d. physique XLVII. S. 129—153. In dieser Arbeit giebt Matteucci an, die 6 Jahre früher erschienene wichtige Liebig'sche Arbeit erst nach dem Abschluss seiner Versuche kennen gelernt zu haben(!), stellt selbstständig den Begriff der „Muskelrespiration" auf u. s. w.

zugleich fand derselbe die Kohlensäureausscheidung dem Volum nach kleiner als die Sauerstoffaufnahme, und ferner eine Stickstoffausscheidung. Alle diese Grössen vermehren sich nach *Matteucci* bei der Contraction.

Ein Jahr später kam *Valentin* in einer zweiten Arbeit zu ähnlichen Resultaten mit einem Apparate, in welchem das Präparat in einem durch Quecksilber abgesperrten Luftraume von bekanntem Volum gereizt werden konnte; aus dem Apparat konnten Proben zur Gasanalyse entnommen werden*). Schlüsse auf das Verhalten des Stickstoffs gestattete sich *Valentin* wegen der Mängel der Stickstoffbestimmungen nicht. Die meisten Versuche wurden mit unverletzten Fröschen angestellt, und betreffen daher nicht die vorliegende Frage, sondern lieferten nur eine Bestätigung des bekannten Resultats von *Regnault* und *Reiset*, dass Muskelcontractionen den Gaswechsel des Gesammtorganismus erhöhen. Nur ein Theil der Versuche geschah mit ausgeschnittenen Muskeln, und bestätigte im Wesentlichen das Resultat von *Matteucci*.

Dies sind die hauptsächlichsten bisher publicirten Arbeiten über den Gaswechsel ausgeschnittener Muskeln. Da die vier genannten Arbeiten zu gleichen Resultaten kommen, da ferner die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe des Muskels im lebenden Thiere und deren Steigerung bei der Contraction durch vortreffliche Arbeiten vollständig sichergestellt ist, so könnte es überflüssig erscheinen, die Frage der Respiration ausgeschnittener Muskeln noch weiter zu behandeln. Indessen ist bei allen Versuchen an ausgeschnittenen Muskeln, mit Ausnahme der ersten Arbeit von *Valentin*, ein Umstand ganz oder fast unberücksichtigt geblieben, nämlich der, dass faulende Körper, namentlich Eiweisskörper, wie schon lange bekannt ist, Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure ausgeben; dies geschieht schon in sehr

---

*) Die Wirkung der zusammengezogenen Muskeln auf die sie umgebenden Luftmassen. Archiv für physiologische Heilkunde. Neue Folge I. S. 285—366.

frühen Stadien der Fäulniss und es wäre möglich, dass der Gaswechsel ausgeschnittener Muskeln allein auf ihrer postmortalen Zersetzung heruht.

Man wird nun allerdings sagen können, dass die Wissenschaft an der Frage ob die ausgeschnittenen Muskeln einen vitalen (sit venia verbo!) oder nur einen Fäulnissgaswechsel haben, gegenwärtig kein Interesse mehr habe, nachdem *Ludwig* und *Sczelkow* durch Vergleichung des Gasgehalts im Muskelarterien- und Muskelvenenblut einen Gaswechsel der Muskeln im Organismus constatirt haben. Allein selbst wenn die Feststellung, ob der Gaswechsel der ausgeschnittenen Muskeln mit deren Functionen zusammenhänge oder ein Fäulnissphänomen sei, gar keine weiteren Folgerungen gestattete, wäre die Aufsuchung der Wahrheit immerhin eine berechtigte, wenn auch undankbare Aufgabe. Aber in der That ist die Frage von Wichtigkeit für das physiologische Verständniss. Denn gesetzt sie gäbe das Resultat, dass der Muskel an der Luft nichts seiner normalen Sauerstoffaufnahme Aehnliches zeigt, so wäre ein Fingerzeig gegeben, dass man die bisherigen Vorstellungen über diesen Vorgang wesentlich zu modificiren hätte. Zweitens aber stehen die numerischen Resultate, welche die Versuche mit ausgeschnittenen Muskeln hinsichtlich des Gaswechsels ergeben haben, mit gewissen Schlüssen im Widerspruch, die aus anderen von mir angestellten Versuchen (s. Abschnitt 1 und 4) zu ziehen sind, — ein Widerspruch der aufzuklären ist. Dieser Widerspruch ist zu gross um durch blosse Mangelhaftigkeit der früheren Gasbestimmungen erklärt zu werden, obgleich dieselbe vorhanden ist (*Bunsen* hatte damals noch nicht die classischen Regeln für Versuche mit Gasen gegeben, welche jetzt diese Arbeiten so sehr fördern), — es muss eine tiefere Ursache zu Grunde liegen. Der vierte Abschnitt dieser Schrift wird lehren, dass die in diesem Abschnitt mitzutheilenden Versuche für das Verständniss der Processe in den Muskeln nicht gleichgültig sind.

1. Der Gaswechsel ausgeschnittener Muskeln (entblutet).

Die Methode, welche nach Erprobung mehrerer Abänderungen schliesslich bei allen Versuchen dieses Abschnitts (mit Ausnahme einiger besonders anzuführender) benutzt wurde, ist folgende:

Da die Einführung von Muskeln in ein vorher gemessenes, durch Quecksilber gesperrtes Gasvolum stets durch das unvermeidliche Eindringen von Luftblasen mit Fehlern behaftet ist, wurde hierauf durchweg verzichtet; das Herausziehen von Muskeln aus dem Athmungsrohr durch das Quecksilber lässt sich dem gegenüber bei einiger Behutsamkeit ohne den geringsten Gasverlust ausführen. Es wurden daher in gewöhnliche aber etwas kurze und weite Absorptionsröhren mit Schnabel (hinten als No. 7 und 12 bezeichnet) die Muskeln, an Platindrähten befestigt, frei eingeführt, und dann erst das Rohr in Quecksilber eingesenkt, welches man durch Austretenlassen von etwas Luft (durch Neigen) beliebig hoch eintreten lässt. Die Muskeln befinden sich also in einem ungemessenen Luftvolum. Nach dem Versuch werden die Muskeln an dem Platindraht (der während des Versuchs ganz in das Quecksilber versenkt sein muss) herausgezogen. Man hat nun im Rohr ein Gasvolum, am Boden desselben stets etwas aus den Muskeln ausgetretene Flüssigkeit. Die Analyse geschieht wie gewöhnlich, mit einigen nöthigen Cautelen. Nach Bestimmung des Volums muss man nämlich einen Theil des Gases zur Kohlensäurebestimmung von der am Boden befindlichen Flüssigkeit befreit sich verschaffen; dies geschieht durch ein- oder mehrmaliges Umfüllen in immer andere, nur soweit nöthig befeuchtete Absorptionsröhren. Das so erhaltene Gas wird gemessen, der Kohlensäure-, Sauerstoff- und Stickstoffgehalt desselben ermittelt, und diese Mengen auf das ursprüngliche Gesammtvolum des Gases verrechnet. Man findet so die Kohlensäureproduction der Muskeln direct, den Sauerstoffverbrauch aber findet man folgendermassen, mittels des vorhandenen Stickstoffs: es wird von dem Sauerstoffvolum, welches zu der gefundenen Stickstoffmenge — in atmosphärischer Luft gehören würde

(die Luft zu 79,04 pCt. Sauerstoff und 20,96 pCt. Stickstoff berechnet), das wirklich vorhandene Sauerstoffvolum abgezogen, und das Deficit als Verbrauch berechnet.

Wie man sieht, werden bei dieser Berechnungsweise drei Fehler gemacht: Erstens der Kohlensäuregehalt der ursprünglichen Luft wird vernachlässigt; da die Entnahme der ursprünglichen Luft stets auf einem unbenutzten Corridor geschah, so brauchen wir ihren Kohlensäuregehalt höchstens zu 0,04 pCt. anzunehmen. Es wird also die Kohlensäureproduction etwas zu gross gefunden, aber da die geringste Kohlensäureproduction im Verhältniss zur angewandten Luft 0,67 pCt. betrug*), nur um höchstens 6 pCt. ihrer gefundenen Grösse, d. h. in diesem Falle um 0,086 pCt. der Muskeln, eine Grösse, die gar nicht in Betracht kommt. In Wahrheit aber ist der Fehler meist noch bei weitem kleiner.

Zweitens ist der Sauerstoff- und Stickstoffgehalt in der Luft nicht ganz constant; allein dieser Fehler ist so gering, dass er bei der Gasanalyse hergebrachtermassen vernachlässigt wird und daher hier kaum erwähnt zu werden braucht.

Der dritte und bedeutendste Fehler ist die Stickstoffausgabe der Muskeln. Durch diese wird der Stickstoffrest vergrössert, also die Sauerstoffverzehrung zu gross gefunden. Eine besondere Versuchsreihe überzeugte mich nun, dass die Stickstoffausgabe wesentlich ein Fäulnissphänomen ist, was schon durch die oben angeführte Arbeit von *Valentin* und ferner durch die Versuche des ersten Abschnitts (Seite 13) angedeutet ist (vgl. auch Versuch 19). Es wird also bei dem in der Fäulniss vorgeschritteneren Muskel der Sauerstoffverbrauch zu gross gefunden werden, und zwar um etwa den vierten Theil des producirten Stickstoffvolums. Da Letzteres aber, so lange nicht äusserliche Zeichen der Fäulniss eintreten, stets sehr gering ist, so ist der Fehler für die hier mitzutheilenden Versuche in den meisten Fällen verschwindend klein.

Alle diese Fehler aber werden reichlich aufgewogen durch die

*) Nämlich in Versuch 27. 1.

Sicherheit der gasometrischen Analyse bei dem angewandten Verfahren, während alle anderen Versuchsweisen ungleich grössere Fehler einführen *).

Unsere Aufgaben sind nun folgende: 1. Untersuchung der Einflüsse des Fäulnissgrades, der Grösse der Oberfläche, der Grösse der Querschnitte auf den Gaswechsel; 2. Vergleichung des Gaswechsels von Muskeln die unter gleichen Bedingungen betreffs Fäulnissgrades, Oberflächen- und Querschnittsgrösse sich befinden, sich aber dadurch unterscheiden, dass der eine lebt (erregbar ist), der andere nicht. Bei allen Vergleichungen des Gaswechsels zweier Muskeln muss natürlich Zeit und Temperatur bei beiden gleich sein (falls es sich nicht grade um Feststellung des Einflusses beider handelt). Die Cylinder mit den Muskeln befanden sich stets dicht nebeneinander (in derselben Quecksilberwanne). —

Ebensoleicht wie der Gaswechsel eines lebenden Muskels, ist der eines todten und eines in voller Fäulniss begriffenen zu constatiren. Behufs Vergleichung der Grösse derselben sind zunächst einige wesentliche Einflüsse in Betracht zu ziehen.

Worauf auch immer der Gaswechsel der Muskeln beruhen möge, jedenfalls muss die Grösse ihrer Oberfläche eine sehr bedeutende Rolle spielen. Denn handelt es sich um einen physiologischen Gaswechsel jedes einzelnen Muskeltheilchens, so wird dieser nur durch schichtweise Diffusion von der mit der Luft in Berührung stehenden Oberfläche her, resp. hin, stattfinden können; handelt es sich aber um eine faulige Zersetzung, so ist um so eher zu erwarten, dass die mit dem Sauerstoff in Berührung stehende Oberfläche, die ja bei allen Fäulnissprocessen homogener Massen zuerst ergriffen wird, durch ihre Grösse auf den Gaswechsel Einfluss übt. Die Versuche zeigen in der That, dass ceteris paribus grössere Muskelmassen einen viel kleineren procentischen Gaswechsel besitzen, als kleinere; dies kann nur daher

*) Von den hinten mitgetheilten Versuchen sind nur No. 19 und 20 nach einem andern, weniger sicheren Verfahren angestellt, nämlich Einführung in eine gemessene Menge electrolytischen Knallgases. Für Bestimmungen der Stickstoffausgabe ist vorheriges Messen unentbehrlich.

rühren, dass letztere eine im Verhältniss zur Masse grössere Oberfläche besitzen. Man muss deshalb zu Vergleichungen des Gaswechsels möglichst gleich grosse Muskelmassen wählen, oder ihre ungleiche Grösse im obigen Sinne berücksichtigen.

Ebenso von vornherein verständlich wie der Einfluss der Oberfläche im Allgemeinen ist der besondere freiliegender Querschnitte. Es liegt hier die functionirende, oder nach der anderen Anschauung die leicht zersetzliche*) Substanz des Muskelröhreninhalts bloss, es muss dadurch, wie in der That der Versuch zeigt, der Gaswechsel vergrössert werden. Man muss deshalb an den zu vergleichenden Präparaten die Querschnitte entweder ganz vermeiden, oder da dies in aller Strenge meist unmöglich ist**), in beiden Präparaten in gleichem Umfang herstellen.

Wenn man nun mit Berücksichtigung dieser Regeln den Gaswechsel eines lebenden und eines in voller Fäulniss begriffenen Muskels vergleicht (Versuch 19), so findet man den des letzteren ungleich grösser. Besonders instructiv ist der Versuch 20, der gleichzeitig den Einfluss der Fäulniss und der Oberfläche zeigt; die faule Muskelmasse, obgleich von allen dreien die grösste, hat bei weitem den grössten procentischen Gaswechsel; von den beiden frischen ist der der kleineren der grössere (vgl. oben).

Nach diesen Vorbereitungen können wir nunmehr zu der Aufgabe schreiten, den Einfluss des wirklichen Lebens, der Erregbarkeit, auf den Gaswechsel zu erforschen.

Zuerst wählte ich hierzu die Vergleichung gleich frischer lebender und wärmestarrer Muskeln. Von einem ausgespritzten und gleich darauf getödteten möglichst grossen Frosche wurden die beiden Hinterbeine so präparirt, dass der Fuss exarticulirt, die Beckenmusculatur und die Ansätze der Recti abdominis an die Ossa pubis sorgfältig entfernt, und die

*) Dass der frisch angelegte Muskelquerschnitt sich schnell verändert, erwähnt u. A. du Bois-Reymond (a. a. O. S. 297). Auch Liebig suchte sich vor dem Einfluss der Querschnitte bei seinen Versuchen möglichst zu schützen

**) Vgl. die folgende Anmerkung.

Symphysis pubis mit einem Knorpelmesser getrennt wurde*). Die beiden so erhaltenen Präparate, welche fast genau gleich gross und mit keinen oder wenigstens beiderseits gleichen Qüerschnitten versehen sind, wurden gewogen und während 5—10 Minuten das eine in 45° warme, das andere in kalte halbprocentige Kochsalzlösung getaucht. Darauf wurden beide mit Fliesspapier leicht abgetrocknet, und an Platindrähten in ziemlich gleiche Absorptionsröhren in der oben Seite 32 beschriebenen Weise eingeführt. Nach beendigtem Versuch (15—20 Stunden) wurden beide zu gleicher Zeit herausgezogen und die Analyse geschah in der oben erörterten Weise. Die Knochen wurden nach beendigtem Versuch mit grösster Sorgfalt rein präparirt, gewogen, und ihr Gewicht von dem der Präparate subtrahirt, so dass die in den Versuchen erwähnten Muskelgewichte auf die blossen Muskeln sich beziehen. In Betreff der Wägung ist zu bemerken, dass dieselbe bei feuchten Präparaten unmöglich ganz genau sein kann. Wiederholte Wägungen desselben Präparates im grössten Zeitabstand welcher bei den Versuchen überhaupt vorkommt, zeigten, dass die gefundenen Gewichte bei einem mittleren Gewicht von etwa 9 grm. um 2 cgrm. von einander abweichen können; der mögliche Fehler beträgt also etwa 0,2 pCt., er wird natürlich um so kleiner je grösser die angewandte Muskelmasse ist (sie betrug meist 6—12 grm.); da die gefundenen Procentzahlen des Gaswechsels in den verschiedenen Versuchen zwischen 1,43 (Versuch 27. 1) und 165,72 (Versuch 20. 3) Volumprocent der angewandten Muskelmassen liegen, so ergiebt sich hieraus ein Fehler dieser Procentzahlen von 0,003 bis 0,331 Procent, oder von 0 bis 0,2 pCt. ihrer eigenen Grösse.

Die Versuche mit wärmestarren und lebenden Muskeln gingen von der Voraussetzung aus, dass jedenfalls kein Grund vorliegt, den starren Muskeln eine schnellere Fäulniss oder Oberflächenzehrung (so

---

*) Wenn es nicht gelungen ist, den Schnitt ohne alle Muskelverletzung genau durch die Symphyse zu führen (eine ziemlich schwierige Aufgabe), so muss man dem unverletzten Schenkel eine möglichst gleich beschaffene Verletzung wie dem anderen beibringen.

will ich der Kürze halber die hier in Rede stehenden postmortalen, mit Gaswechsel verbundenen Veränderungen der Oberfläche bezeichnen) zuzuschreiben als den lebenden von gleichem postmortalem Alter. Die Versuche*) ergaben nun sehr regelmässig einen ein wenig geringeren Sauerstoffverbrauch, dagegen eine bedeutend grössere Kohlensäureausgabe auf Seiten der starren Muskeln; dies Resultat bleibt auch dann bestehen, wenn man den Einfluss der Versuchsfehler so gross als irgend möglich annimmt. Man kann nun dies Resultat auf folgende zwei Arten deuten:

Entweder: wir haben es bei beiden Muskeln mit zwei ganz verschiedenen Ursachen des Gaswechsels zu thun, bei dem lebenden mit vitaler Athmung, bei dem starren mit beginnender Fäulniss (Oberflächenzehrung). Beide sind (merkwürdigerweise!) von annähernd gleicher Grösse, die Fäulniss (beim starren Muskel) bedingt einen etwas geringeren Gaswechsel, die stärkere Kohlensäureausfuhr ist hier nur die Folge der sauren Reaction.

Oder: der Gaswechsel ist bei beiden Muskeln Folge desselben Processes, nämlich der Oberflächenzehrung. Dieselbe ist bei dem starren Muskel ein wenig geringer als bei dem lebenden, weil dieser durch den vorhergegangenen Aufenthalt in erhöhter Temperatur, wodurch ein leicht zersetzlicher Eiweisskörper zur Coagulation gebracht ist, ferner durch seine saure Reaction weniger zur Fäulniss disponirt ist. Das Plus der Kohlensäureausscheidung ist die Folge einer vermehrten Kohlensäurebildung während der Starre (vgl. Abschnitt 1. S. 16).

Niemand wird in Zweifel sein, welcher von beiden Erklärungen er sich zuwenden soll, besonders wenn er weiss, dass in der That der wärmestarre Muskel zur Fäulniss *weniger* disponirt ist, als der lebende. Lässt man einen lebenden und einen wärmestarr gemachten Muskel längere Zeit unter gleichen Bedingungen liegen, so beobachtet man ein Stadium wo ersterer, obgleich noch erregbar, die stärksten Zeichen der Oberflächenfäulniss durch den Geruch bietet, während bei letzterem noch nichts dergleichen zu merken ist. Jeder der sich

*) Versuch 21, 22, 23, 24.

vielfach mit Froschmuskeln beschäftigt, wird ohnehin diese Erfahrung längst gemacht haben.

Wir können also das angegebene Versuchsresultat bereits als einen annähernden Beweis ansehen, dass (um die Kohlensäureausscheidung vorläufig ausser Acht lassen) der Sauerstoffverbrauch des lebenden und des wärmestarren ausgeschnittenen Muskels im wesentlichen auf demselben Process beruhen muss, der nur im wärmestarren Muskel etwas langsamer verläuft*).

Es kommt aber nun darauf an, — um die Frage endgültig zu entscheiden, — den Parallelmuskel auf eine Weise zu tödten, die sein Zersetzungsvermögen nicht, wie die Wärmestarre, herabsetzt. Ich wählte dazu die Einwirkung destillirten Wassers. Von den beiden in gleicher Weise wie bisher zugerichteten und gewogenen Präparaten wird über Nacht das eine in halbprocentige Kochsalzlösung, das andere in destillirtes Wasser gelegt. Hierauf wird der Versuch wie bisher angestellt. Diese Versuche**) ergaben einen gleichen, oder selbst bei dem starren grösseren, Sauerstoffverbrauch beider Präparate, die Abweichungen liegen innerhalb der Fehlergrenzen. Auch die Kohlensäureausgabe ist bei beiden Muskeln wenig verschieden; allerdings auf Seiten des starren Muskels ein wenig grösser***).

Diese Versuche beweisen mit voller Sicherheit, dass der Sauerstoffverbrauch überlebender Muskeln entweder ganz oder doch so weit man messen kann, auf einer Ur-

*) Da die den Muskel bespülenden Flüssigkeiten (Blut, Lymphe) sehr zersetzlich sind, so ist es nöthig, ihn vor den Versuchen durch Abspülen in $^1/_2$ procentiger Kochsalzlösung von diesen zu reinigen. Unterlässt man dies und wendet man namentlich unentblutete Muskeln an, so ist der zersetzungshemmende Einfluss der Wärmestarre viel merklicher als sonst (vgl. Versuch 24).

**) Versuch 25 und 26.

***) Da bei diesen Versuchen die lange mit Flüssigkeit behandelten Muskeln mehr Flüssigkeit im Rohr austreten lassen, als in den früheren Versuchen, so ist für die von der ausgetretenen Flüssigkeit absorbirte Kohlensäure eine Correctionsrechnung nöthig (s. d. Versuche).

sache beruht, für die die Lebensprocesse des Muskels keine Rolle spielen. Als diese Ursache lässt sich nichts Anderes als die Oberflächenzehrung angeben. Man hat also aus den *Liebig*'schen Versuchen mit Muskelathmung einen unberechtigten Schluss gezogen.

Die Kohlensäureausfuhr der Muskeln ist ein viel complicirteres Phänomen als die Sauerstoffaufnahme. Dass die an der Oberfläche des Muskels verlaufenden Zersetzungsprocesse neben der Sauerstoffverzehrung auch mit einer Kohlensäurebildung verbunden sind, kann wohl als ausgemacht gelten. Allein der Muskel enthält auch in seinem Innern Kohlensäure, welche theils von früheren Processen herrührt, theils fortwährend gebildet wird. Die Versuche des ersten Abschnitts geben nämlich den sicheren Beweis, dass der ausgeschnittene Muskel, ohne Sauerstoffzutritt, unter gewissen Umständen, unter andern reichlich beim Erstarren, Kohlensäure bildet. Diese Kohlensäure wird natürlich bei den Athmungsversuchen zum Theil zur Ausscheidung gelangen; wie schnell aber, das wird offenbar ausser von ihrer Menge, von vielen Umständen, z. B. von der Zusammensetzung der umgebenden Luft, abhängen. Diese Betrachtungen erklären es, warum erstens die Grösse der Kohlensäureausscheidung so sehr unregelmässig ist und in gar keinem regelmässigen Verhältniss zur Sauerstoffaufnahme steht, und warum zweitens der wärmestarre Muskel, der beim Erstarren eine grössere Kohlensäuremenge gebildet hat, als der überlebende Muskel so lange er lebt bilden kann (vgl. S. 26), regelmässig eine grössere Kohlensäureausscheidung zeigt als der überlebende.

2. Der Gaswechsel ausgeschnittener thätiger Muskeln (entblutet).

Die Richtigkeit der Angabe von *Matteucci* und *Valentin*, dass der Gaswechsel ausgeschnittener Muskeln bei der Reizung grösser ist, als bei der Ruhe, ist auch an entbluteten Muskeln (welche von diesen beiden Forschern nicht benutzt worden sind) leicht zu constatiren. Jedoch ist der Unterschied nur in der Kohlensäureausfuhr

sehr bedeutend, in der Sauerstoffaufnahme ist er viel weniger gross, wenn auch stets deutlich*).

Scheinbar ist dieser Befund eine directe Widerlegung unserer eben gegebenen Erklärung des Gaswechsels ausgeschnittener Muskeln; denn diese würde zwar die bedeutende Erhöhung der Kohlensäureausscheidung beim Tetanus leicht begreiflich machen, nicht aber die (wie gesagt viel geringere) Erhöhung der Sauerstoffaufnahme.

Zunächst handelt es sich um die Frage ob diese Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs vielleicht einer irgend wie erfolgenden Förderung des Zehrungsprocesses durch die electrischen Ströme zuzuschreiben sei, — eine von vornherein nicht ganz von der Hand zu weisende Frage. Genaue Vergleichungsversuche aber mit zwei starren Präparaten, von denen das eine wie die lebenden mit electrischen Strömen behandelt wurde, ergaben, dass ein derartiger Einfluss nicht stattfindet**). Dasselbe Resultat ergab sich als ich einen lebenden und einen starren Schenkel in Einem Kreise von tetanisirenden Strömen durchfliessen liess. Hier hätten wenn die electrische Durchströmung an sich den Gaswechsel erhöhte, und dies die Ursache des vermehrten Gaswechsels im Tetanus wäre, beide Muskeln gleichen Schritt halten müssen. Der Versuch ergab aber ein Plus zu Gunsten des lebenden***).

Du Bois-Reymond deutet in seiner lateinischen Schrift über die Reaction der Muskeln†) auf eine andere mögliche Ursache der Vermehrung des Sauerstoffverbrauchs bei der Thätigkeit hin, welche sich in der That durch von mir angestellte Versuche als die im höchsten Grade wahrscheinliche erwiesen hat. Es ist dies nämlich die Bewegung des gereizten Präparats, wodurch dasselbe mit beständig neuen Luftschichten in Berührung kommt, während das nicht gereizte ruhig hängt. Offenbar kann es für einen Gaswechsel der entweder nur die oberflächlichen Schichten des Muskels betrifft, oder doch jedenfalls

---

*) Vgl. Versuch 27.

**) Versuch 28.

***) Versuch 29.

†) De fibrae muscularis reactione ut chemicis visa est acida. Berolini 1859. pag. 33.

nur durch die Oberfläche vermittelt wird, nicht gleichgültig sein, ob der Körper in Ruhe bleibt oder sich fortwährend hin und her bewegt.

Leider fand ich kein Mittel um diesen Einfluss zu eliminiren. Denn die Untersuchung des Gaswechsels in durchgeleiteter Luft (welche übrigens vermuthlich nicht einmal den genannten Einfluss ganz paralysiren würde) ist für Bestimmungen des Sauerstoffverbrauchs nicht brauchbar, um diesen aber handelt es sich hier allein. Ich musste mich daher damit begnügen festzustellen, dass der vermuthete Einfluss der Bewegung wirklich existirt, und dies geschah folgendermassen.

Von den beiden zu vergleichenden überlebenden Präparaten wurde das eine durch regelmässige Inductionsschläge, die durch ein Metronom bewerkstelligt wurden, in Zuckungen versetzt, und die secundäre Rolle des Inductionsapparates wie gewöhnlich der primären in gewissen Zeitabständen etwas genähert, der sinkenden Erregbarkeit entsprechend. Das andere, nicht erregte Präparat wurde mit seinem Rohr, welches unter Quecksilber verkorkt war (der Platindraht war zwischen Glas und Kork eingeklemmt) von Zeit zu Zeit, und zwar so oft die Rolle des Inductionsapparates vorgeschoben wurde (etwa alle 2—10 Minuten), eine kurze Zeit lang (mit der eingeschlossenen Quecksilbermenge) geschüttelt. Der Versuch*) ergab, dass der Unterschied in der Sauerstoffaufnahme vollständig verschwunden war, während der der Kohlensäureausscheidung nach wie vor bestehen blieb.

In einem anderen Versuche**), wo die Schüttelung noch öfter vorgenommen wurde, war sogar die Sauerstoffaufnahme des ruhenden und geschüttelten Muskels grösser als die des gereizten und nicht geschüttelten, die Kohlensäureausscheidung aber blieb bei letzterem grösser.

Die Versuche dieses Abschnittes lehren also folgendes:

1. Die Sauerstoffaufnahme ausgeschnittener entbluteter Frosch-

---

*) Versuch 30.
**) Versuch 31.

muskeln beruht auf einer sofort nach der Entfernung aus dem Körper beginnenden Zersetzung der Oberfläche und namentlich etwa freiliegender Querschnitte des Muskels. Sie nimmt mit dem Vorschreiten der Fäulniss zu. Eine mit den Lebensprocessen des Muskels zusammenhängende Sauerstoffverzehrung lässt sich nicht nachweisen; wenn sie vorhanden ist, so kann sie nur verschwindend klein sein.

2. Jene Sauerstoffaufnahme wird durch Bewegung des Muskels in der umgebenden Luft, wodurch er stets mit neuen Schichten derselben in Berührung kommt, vergrössert; eine mit dem Contractionsvorgange zusammenhängende Vermehrung der Sauerstoffaufnahme ist nicht nachzuweisen, und kann, wenn sie vorhanden ist, nur verschwindend klein sein.

3. Die Kohlensäureausgabe des ausgeschnittenen Muskels rührt zum Theil von Zersetzungsprocessen seiner Oberfläche, zum Theil aber von der Ausscheidung physiologisch gebildeter Kohlensäure her; der letztere Antheil wird erst dann nachweisbar, wenn durch Starre oder Contraction eine vermehrte Bildung von Kohlensäure im Muskel erfolgt.

3. Abschnitt.

Der Einfluss der den ausgeschnittenen Muskel umgebenden Atmosphäre auf dessen Erregbarkeit.

Die ersten Angaben über diesen Gegenstand sind von *Al. v. Humboldt* gemacht worden*), welcher 1795 fand, dass ausgeschnittene Froschmuskeln in Sauerstoffgas länger erregbar bleiben, als in Luft oder Wasserstoff oder Kohlensäure, namentlich bei höheren Temperaturen; über einen Unterschied der Erregbarkeitsdauer in den drei letzteren Gasen findet sich bei *Humboldt* nichts.

Die nächsten und abgesehen von den *Humboldt*'schen allein brauchbaren Versuche über diesen Gegenstand sind von *Georg Liebig* angestellt worden. Derselbe führte in zwei mit Quecksilber gesperrte Glocken Froschgastrocnemien ein, und verdrängte in der einen derselben die Luft durch das zu prüfende Gas (in den oberen Verschluss der Glocke war ein aussen unter Wasser mündendes Glasrohr eingelassen**): die Erregbarkeit wurde durch einen durch beide Muskeln hintereinander geleiteten Inductionsschlag von Zeit zu Zeit auf ihr Vorhandensein (nicht auf ihre Höhe) geprüft. Ueber den wirklichen Unterschied in der Erregbarkeitsdauer ist aus *Liebig*'s Versuchsmit-

*) Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. 1797. II. S. 282—286.

**) Bei den Versuchen mit Stickstoff wurde erst die Glocke mit Stickstoff gefüllt und dann der Muskel durch das Quecksilber eingeführt.

theilungen nur in seltenen Fällen etwas zu ersehen; die Angaben sind nämlich in Tabellen folgender Art angeordnet:

	Wasserstoff		Atmosph. Luft		
Datum	länger als	nicht	länger als	nicht	Temper.
21. Juni.	1 St.	7 St.	7 St.	9 St.	
23. „	5 „	16 „	16 „	—	

Streng genommen ergeben diese Tabellen, da die Intervalle der Prüfungen nicht angegeben sind, nicht, ob nicht der Wasserstoffmuskel ganz kurz vor, und der Luftmuskel ganz kurz nach 7 Stunden seine Erregbarkeit eingebüsst hat. Die erste und die vierte Rubrik sagen eigentlich nichts aus, und die beiden mittleren nur wenig, wenn nicht die Zahl der dritten höher ist als die der zweiten. Es sind aber sogar viele Fälle mitgetheilt wo die dritte Rubrik eine höhere Zahl hat als die zweite, und wo in der vierten keine Zahl steht, z. B.

	Stickstoff		Atmosph. Luft	
Datum Juli	länger als	nicht	länger als	nicht
3	3 St.	12 St.	15 St.	—
4	6 „	27 „	7 „	—
5	13 „	24 „	24 „	—
8	12 „	22 „	22 „	24
9		18 „	18 „	24

Was man hier aus dem Versuch vom 4. Juli schliessen soll, ist absolut unverständlich.

Nehmen wir nun an, *Liebig* habe seine Muskeln häufig geprüft, und die vierte Rubrik zeige die Zeit an wo auch der zweite Muskel nicht mehr reagirt hat, so ergeben seine Versuche allerdings, 1. dass die in Luft befindlichen Muskeln meist länger erregbar blieben, als die in Wasserstoff oder Stickstoff befindlichen; in Kohlensäure starben die Muskeln sehr schnell ab und wurden weiss und undurchsichtig;

derselbe Unterschied zeigte sich an entbluteten Muskeln; 2. dass bluthaltige Muskeln in Sauerstoff länger erregbar blieben als in Luft; dieser Unterschied zeigte sich nicht bei entbluteten Muskeln. *Liebig* entblutete seine Frösche mit destillirtem Wasser, dessen schädliche Wirkung er unbeachtet liess, obgleich er beim Ausspritzen die später von *v. Wittich* beschriebenen Krämpfe bemerkte; die Erregbarkeitsdauer war daher absolut geringer als die der nicht entbluteten.

Ausser diesen Versuchen existiren noch Angaben von *v. Humboldt*, *Tiedemann*, *Castell*, *Bernstein* und *Schiffer* über die Dauer der Pulsationen ausgeschnittener Froschherzen in verschiedenen Gasarten und im Vacuum. Diese Versuche gestatten aber keine Schlüsse auf den Einfluss dieser Umstände auf die Muskelerregbarkeit, da es sich hier um automatische Bewegungen handelt, bei denen möglicher Weise der Ausschluss des Sauerstoffs viel mehr den die Bewegungen auslösenden Reiz, als die Erregbarkeit der contractilen Substanz beeinflusst. Dasselbe liesse sich einwenden, wenn man die Versuche von *Kühne* über die Dauer der Flimmerbewegung in verschiedenen Gasen für die hier vorliegende Frage verwerthen wollte.

Die im vorigen Abschnitt mitgetheilten Erfahrungen, nach welchen die Sauerstoffaufnahme ausgeschnittener Muskeln zum bei weitem grössten Theil Zersetzungsprocessen der Oberfläche zuzuschreiben ist, während nur ein jedenfalls sehr kleiner, nicht mit Schärfe nachweisbarer Antheil auf Rechnung physiologischer Processe zu setzen ist, nöthigten mich, diesen Gegenstand einer erneuten, mit aller Strenge durchgeführten Untersuchung zu unterziehen. Zugleich war dabei Rücksicht zu nehmen auf einige von den früheren Untersuchern unbeachtet gelassene Umstände, nämlich auf den Thätigkeits- oder Ruhezustand des Muskels, ferner auf den Verlauf der Erregbarkeit.

Meine ersten Versuche stellte ich am Sartorius (ausgespritzter Frösche) an, um eine etwaige augenblickliche Wirkung sauerstofffreier Gase auf die Erregbarkeit zu constatiren; diese musste sich offenbar an einem dünnen Muskel, den die Gase schnell durchdrin-

gen, viel besser herausstellen, als an dem gewöhnlich verwandten Gastrocnemius. Jeder Sartorius (natürlich von demselben Frosche) befand sich in einem kleinen Standcylinder, durch dessen Kork zwei kurze Messingdrähte und zwei Glasröhren, eine bis auf den Boden reichende und eine nur durch den Kork gehende, hindurchgingen; der Boden war mit einer Schicht halbprocentiger Kochsalzlösung bedeckt. Der eine Draht trug eine kleine Klemmzange mit Schraube, an der der Sartorius (an dessen beiden Enden kurze Gewebsstücke gelassen waren) hing; am untern Ende des Sartorius hing ein gleiches Klemmzängchen, das durch einen feinen, spiralig gewundenen Draht mit der zweiten Electrode verbunden war. Durch den einen Cylinder wurde Luft aus einem Gasometer, durch den anderen sorgfältig gewaschenes Wasserstoffgas direct aus dem Entwicklungsapparat geleitet; die am Boden befindliche Flüssigkeit hielt den Raum feucht, und konnte durch etwaiges Anspritzen an den Muskel bei zu stürmischer Gasentwicklung diesem nichts schaden. Auf den Wasserstoffcylinder folgte noch ein zweites Wasserventil um desto sicherer den Luftzutritt auszuschliessen. Beide Muskeln waren in denselben Stromkreis in gleicher Richtung eingeschaltet.

Eine augenblickliche Wirkung des Wasserstoffgases auf die Erregbarkeit war in keinem Falle vorhanden. Bei der Durchführung der Versuche zeigte sich nun zu meinem Erstaunen fast stets, mochten die Muskeln sehr selten oder häufig in regelmässigen Intervallen erregt werden, ein früheres Erlöschen der Erregbarkeit bei dem in Luft befindlichen Muskel.

Obwohl die Verschlüsse des Wasserstoffzuleitungsapparates auf das Sorgfältigste dicht gemacht waren, argwöhnte ich doch ein Eindringen kleiner Quantitäten Luft. In der That ist die Durchleitungsmethode für derartige Versuche nicht zweckmässig; denn die geringste Undichtheit vereitelt den ganzen Versuch, da die geringsten eindringenden Luftmengen in dem stundenlangen Experiment sich beständig erneuern; nebenbei erfordern solche Versuche sehr grosse Gasquantitäten, welche sich schwer in der durchaus erforderlichen Reinheit herstellen lassen. Ich zog es daher vor die Muskeln in einem abge-

schlossenen Gasquantum zu untersuchen. Für diese Versuche benutzte ich, da nur kleine Mengen nöthig waren, electrolytisches Wasserstoffgas, das durch concentrirte Schwefelsäure gewaschen war, und der Parallelmuskel wurde nicht in Luft, sondern in electrolytisches Knallgas aus demselben Apparate eingeführt.

Die Versuche waren folgendermassen eingerichtet: Als Electroden dienten Drähte, welche in enge Glasröhren eingeschmolzen waren und mit diesen gebogen wurden (der aus dem Rohre hervorragende, eingeschmolzene, zur Befestigung des Muskels dienende Theil des Drahtes bestand aus Platin, der Rest war ein an den Platindraht angelötheter Kupferdraht, der aus dem anderen offenen Ende des Glasrohrs hervorragte). Der Muskel wurde zwischen zwei solchen durch Glas isolirten Drähten befestigt und mit diesen in ein, an einem Ende zugeschmolzenes weites Glasrohr eingeführt, am unteren Ende des Glasrohrs bogen beide Drähte nach oben und aussen um. Jetzt wurde das Rohr mit den beiden Drähten und dem Muskel in einen mit halbprocentiger Kochsalzlösung gefüllten Trog niedergelegt, das offene Ende etwas erhoben, so dass alle Luft bis auf das feinste Bläschen durch die Flüssigkeit aus dem Rohr verdrängt wurde; dann wurde das Rohr, das nun ganz mit Flüssigkeit gefüllt war, aufgerichtet und befestigt. Dasselbe geschah mit dem zweiten Rohr. Jetzt wurde die Flüssigkeit aus dem einen Rohr durch electrolytisches Wasserstoffgas, aus dem anderen durch Knallgas verdrängt, und nun noch auf den Boden des Trogs soviel Quecksilber gegossen, dass dies die Röhren vollständig absperrte und so keine Diffusion durch die Kochsalzlösung hindurch stattfinden konnte*).

Sobald einer der beiden angewandten Muskeln von vorn herein eine bedeutend geringere Erregbarkeit zeigt, als der andere, kann

*) Den einzigen Fehler bei diesem Verfahren bildet die verschwindend kleine Sauerstoffmenge, welche die mit dem Muskel eingeschlossene geringe Quantität Kochsalzlösung absorbirt enthält, und welche bald in das eingeschlossene Gas austreten muss. Allein diese Spur von Sauerstoff kann bei den stunden- und tagelang dauernden Versuchen um so weniger eine Rolle spielen, als sie äusserst schnell durch die Oberflächenzehrung des Muskels verbraucht wird.

man immer darauf rechnen, dass dieser auch früher abstirbt, gleichviel unter welchen Versuchsbedingungen. Solche Versuche sind daher von vorn herein zu verwerfen, und sind auch hier nicht berücksichtigt. Die Versuche mit dem Sartorius bestätigten nun zunächst vollkommen das oben mitgetheilte Resultat, dass der Sartorius in sauerstoffhaltigen Gasen (Luft oder Knallgas) früher abstirbt, als in reinem Wasserstoff. Die ganze Dauer der Erregbarkeit beträgt nur kurze Zeit, und so sind denn auch die beobachteten Unterschiede nicht sehr beträchtlich.

Um weniger vergängliche und nicht so leicht ganz und gar versagende Präparate zu haben, wandte ich mich nun zum Gastrocnemius. Die Versuche an diesem zerfallen in zwei Reihen, nämlich Thätigkeits- und Ruheversuche.

Bei den ersteren wurden beide Muskeln (stets der eine in Wasserstoff, der andre in Knallgas) von Anfang an regelmässig gereizt; entweder durch ein Uhrwerk, das einen dicken messingnen Zeiger drehte, der in einen kleinen Trog mit Quecksilber eintauchend als gut leitende Nebenschliessung zur secundären Spirale des Magnetelectromotors den Tetanus unterbrach, oder durch ein Metronom, das entweder einzelne Inductionsschläge oder kurze Tetanusanfälle*) auslöste. Die secundäre Rolle wurde bei diesen Versuchen stets soweit vorgeschoben, dass kräftige Contractionen erhalten wurden. Diese Versuche ergaben stets ein nahezu gleichzeitiges Absterben beider Muskeln; bald lebte der in Wasserstoff, bald der in Knallgas befindliche eine kurze Zeit länger.

Bei den Ruheversuchen dagegen wurde jede Anstrengung der Muskeln sorgfältig vermieden. Nur in grossen Abständen von mehreren Stunden wurde der Magnetelectromotor in Gang gesetzt und die Rollen einander soweit genähert, bis der eine und der andre Muskel sich contrahirte. Diees Versuche ergaben in den ersten 8 Stunden (am ersten Tage) keine Unterschiede in der Erregbarkeit, am zweiten

*) Vgl. du Bois-Reymond, über die angeblich saure Reaction des Muskelfleisches. Monatsberichte der Berliner Academie 1859. (288—325.) Seite 315.

Tage aber war stets deutlich der in Wasserstoff befindliche Muskel etwas schwächer erregbar als der andere, und seine Erregbarkeit erlosch 1—2 Stunden früher als die des letzteren. Eine Wiedererholung des ersteren, wenn man ihn an die Luft brachte, wurde nie beobachtet.

Genau dieselben Resultate ergaben sich wenn statt des Wasserstoffs Stickstoff (und statt des Knallgases Luft) angewandt wurde. Den Stickstoff verschaffte ich mir, indem ich in einem mit Luft erfüllten Schnabelrohr den Sauerstoff durch wiederholtes Einführen von Papiermachékugeln mit pyrogallussaurem Kali absorbirte, und dann das mehrfach umgefüllte Gas (zur Befreiung von der braunen Masse) schliesslich in das den Muskel enthaltende, in die Quecksilberwanne übertragene Rohr überfüllte.

Dieselben Resultate endlich ergaben sich an Muskeln mit Curare vergifteter Frösche.

Eine andere Versuchsreihe habe ich mit Hülfe der Gaspumpe angestellt. Da nämlich die Anwendung von Wasserstoff und Stickstoff behufs Ausschliessung des Sauerstoffs stets den Verdacht zulässt, dass irgend eine unmerkliche Verunreinigung des künstlich bereiteten Gases dem ihm ausgesetzten Muskel schädlich werde, so wollte ich das Vacuum zur Fernhaltung des Sauerstoffs anwenden. Nachdem frühere Versuche mit einer gewöhnlichen Luftpumpe keine sicheren Resultate ergeben hatten, wandte ich die *Geissler*'sche Quecksilberpumpe zu diesem Behufe an, welche die Herstellung eines absoluten Vacuums gestattet. Der eine Muskel wurde in ein offenes Röhrchen gebracht, in welchem er mit zwei Platindrähten verbunden war. Dies Röhrchen wurde in die Kochflasche *f* (S. 3) eingeführt, auf deren Boden sich ein wenig Flüssigkeit befand; die beiden Platindrähte des Röhrchens wurden mit zwei Platindrähten der Flasche verbunden, und nun vollkommen evacuirt, bis nur noch unmerkliche Gasspuren (von reiner Kohlensäure) sich entwickelten. Der Parallelmuskel befand sich vor Vertrocknung geschützt in Luft. Nachdem vor dem Evacuiren der Stand der Erregbarkeit beider Muskeln fest-

gestellt war, zeigte sich, dass die Erregbarkeit des im Vacuum befindlichen Muskels durch das Evacuiren beträchtlich anstieg, was bei dem anderen nur in sehr geringem Maasse (wie gewöhnlich) der Fall war. Nachher aber sank regelmässig, mochte nun seltene oder häufige Reizung stattfinden, die Erregbarkeit des im Vacuum befindlichen Muskels etwas schneller, als die des anderen, und erlosch demgemäss auch etwas früher. Eine Ausnahme aber machte wiederum der Sartorius, der im Vacuum stets länger erregbar blieb als in der Luft.

Die Deutung dieser sich theilweise anscheinend widersprechenden Resultate, die aus einer ungemein grossen Anzahl von Versuchen abgeleitet sind*), ist nicht leicht.

Vor allen Dingen steht fest, dass die Entfernung des Sauerstoffs keine unmittelbare Herabsetzung der Erregbarkeit zur Folge hat. Geschieht diese Entfernung durch Evacuiren, so erfolgt sogar unmittelbar eine beträchtlichere Erhöhung der Erregbarkeit, als gewöhnlich im eben ausgeschnittenen Muskel; es liegt nahe hier an den Einfluss der vollständigeren Entfernung der Kohlensäure aus dem Muskel zu denken.

Wir haben ferner gesehen, dass dünne Muskeln in Wasserstoff und Stickstoff später absterben, als in denselben Gasen wenn sie mit Sauerstoff gemengt sind, und dass bei dicken Muskeln das Entgegengesetzte der Fall ist (möglichst seltene Erregung vorausgesetzt). Wir haben hier also eine überwiegend schädliche Wirkung des Sauerstoffs bei dünnen, und eine überwiegend erhaltende bei dicken Muskeln. Dies lässt sich nicht anders vereinigen als durch Annahme zweier sich entgegenwirkenden Einflüsse des Sauerstoffs, von denen einer den Sieg davon trägt, bei dünnen Muskeln der schädliche, bei dicken der nützliche.

---

*) Ich habe die Aufführung dieser Versuche im einzelnen, welche einen sehr grossen Raum beanspruchen würde, unterlassen, da sie für das Verständniss völlig entbehrlich ist.

Vor der Hand können wir uns nun aber keinen anderen nützlichen Einfluss des Sauerstoffs denken als eine Aufnahme desselben zu physiologischen Vorgängen im Muskel, und keinen anderen schädlichen als eine Aufnahme zu fäulnissartigen Zersetzungen. Letztere ist im vorigen Abschnitt direct nachgewiesen worden; erstere konnte nicht nachgewiesen werden, es wäre aber immerhin denkbar, dass die Dauer der Erregbarkeit ein viel feineres Reagens für geringe physiologisch aufgenommene Sauerstoffmengen abgäbe, als die analytische Bestimmung dieser Mengen. Nehmen wir also dies einstweilen an, so wird uns der angegebene Widerspruch verständlich. Wir haben dann eine sehr geringe Sauerstoffaufnahme des Muskels anzunehmen, die seine Leistungsfähigkeit länger erhält; gleichzeitig aber verfallen seine oberflächlichen Schichten durch die Gegenwart des Sauerstoffs einem schnell verlaufenden, zerstörenden Zersetzungsprocesse, welcher bei dünnen Muskeln wie der Sartorius natürlich bald den ganzen Muskel zerstört, und so die nützliche Wirkung des Sauerstoffs übercompensirt, während bei dicken Muskeln die Hauptmasse von dem Zersetzungsprocesse erst sehr spät ergriffen wird, und so also hier die erhaltende Wirkung der geringen physiologischen Sauerstoffaufnahme sich geltend machen kann. In der That kann man ja oft genug stark gefaulte, stinkende Muskeln sehen, die noch zucken können, weil ihre inneren Schichten noch ziemlich gut erhalten sind.

Dass bei anhaltender Thätigkeit die dicken Muskeln gar keinen Einfluss des Sauerstoffs erkennen lassen, kann man dadurch erklären, dass bei dem schnellen Ablauf der ganzen Erregbarkeit, in wenigen Stunden, auch das geringe Plus, das die Sauerstoffaufnahme hervorbringt, entsprechend auf eine ganz unmerkliche Grösse herabsinken muss; es ist dies aber ein neuer Beweis für die Geringfügigkeit der physiologischen Sauerstoffaufnahme des ausgeschnittenen Muskels, welche man sich bisher viel zu gross vorgestellt hat.

Schliesslich kann ich ein Bedenken nicht unterdrücken, dessen experimentelle Erledigung mir nicht geglückt ist. Offenbar nämlich hat die Menge der im Muskel anwesenden Kohlensäure eine beträcht-

liche Einwirkung auf die Grösse und Dauer der Erregbarkeit. Hierfür sprechen einerseits die schon von *Liebig* und *Ranke* gemachten, von mir (s. unten) bestätigten Erfahrungen über die Schädlichkeit der Kohlensäure, andrerseits der oben erwähnte, stark die Erregbarkeit erhöhende Einfluss des Evacuirens. Da wir nun über die wahre Natur der Kohlensäureabfuhr aus dem Muskel noch nichts Positives wissen, so ist die Frage immerhin gerechtfertigt, ob die Kohlensäureausscheidung aus dem Muskel in Wasserstoff oder Stickstoff ebenso vollständig erfolge wie in Sauerstoff. Haben doch *Ludwig* und dessen Schüler gezeigt, dass aus Blut die Kohlensäure durch Sauerstoff in ganz anderer und viel vollkommnerer Weise ausgetrieben wird, als durch indifferente Gase. Wenn aber eine specifische kohlensäureaustreibende Kraft des Sauerstoffs auch für den Muskel nachgewiesen werden könnte, so könnte alles was bisher als Wirkung einer geringen physiologischen Oxydation des Muskels gedeutet werden musste, ebenso gut auf Rechnung einer vollkommneren Kohlensäureaustreibung durch den Sauerstoff gesetzt werden. Allein jener Nachweis ist noch nicht geführt worden, und wird wohl auch sehr schwer zu führen sein. Freilich giebt, wie schon *Liebig* gefunden hat, der Muskel in Stickstoff weniger Kohlensäure aus, als in Luft*); aber wir haben ja gesehen, dass in der Luft ein kohlensäurebildender Zersetzungsprocess an der Oberfläche des Muskels stattfindet. Ich habe ferner versucht der Atmosphäre der beiden Muskeln in den S. 47 beschriebenen Versuchen eine Quantität Kohlensäure beizumischen, indem ich nach Einführung der Gase und vor dem Eingiessen des Quecksilbers, in der Lösung eine überschüssige Quantität doppeltkohlensauren Natrons auflöste; aber dies Verfahren liess die a. a. O. angegebenen Versuchsresultate ungeändert. Diese Frage muss ich also vorläufig unbeantwortet lassen.

*) A. a. O. S. 408.

Ich habe ausserdem noch eine Reihe von Versuchen über die Wirkung differenterer Gase auf die Muskelerregbarkeit angestellt, welche ich hier folgen lasse:

1. Stickstoffoxydul.

Die Wirkung dieses Gases unterschied sich soweit die Versuche reichen in keinem Puncte von der des Wasserstoffs; dasselbe ist also wie bereits früher von mir angegeben*), für den Muskel vollkommen indifferent.

2. Kohlenoxyd.

Vom Kohlenoxydgas gilt, wie von Anderen schon beobachtet ist**), genau dasselbe wie von ganz indifferenten Gasen. Es ist dies insofern bemerkenswerth, als es zeigt, dass der geringe Hämoglobingehalt entbluteter Muskeln***) von keiner physiologischen Bedeutung ist.

3. Stickstoffoxyd.

Versuche mit diesem Gase unternahm ich in der Absicht, die stark reducirende Wirkung desselben, welche ich am Blute constatirt hatte†), an den Muskeln zu erproben. Nachdem es auf keine Weise gelungen war, den Muskeln Sauerstoff zu entziehen (vgl. Abschnitt 1), waren noch reducirende chemische Agentien zu erproben, und da sich die Anwendung reducirender Flüssigkeiten (Schwefelammonium, *Stokes*'sche Lösung u. dgl.) beim Muskel von selbst verbietet (da fast alle Flüssigkeiten zerstörend auf denselben wirken), schien die Anwendung dieses stark reducirenden Gases zweckmässig. Die Versuche

---

*) Ueber die physiologischen Wirkungen des Stickstoffoxydulgases. Archiv von Reichert & du Bois-Reymond 1864. S. 521—536.

**) Pokrowsky, über die Vergiftung mit Kohlenoxydgas (Material zur Physiologie der Kohlendunstvergiftung). Virchow's Archiv XXX. 525—568.

***) Vgl. Kühne, über den Farbstoff der Muskeln. Virchow's Archiv XXXIII. S. 79.

†) Ueber die Wirkungen des Stickstoffoxydgases auf das Blut. Archiv von Reichert & du Bois-Reymond 1865. S. 469—481.

wurden am Sartorius angestellt; derselbe befand sich in einem Cylinder, durch welchen zuerst lange Zeit hindurch Wasserstoff, und dann reines Stickoxydgas geleitet wurde. Als Wechselvorrichtung für die beiden Gase diente die in meiner Abhandlung über das Stickoxydgas*) beschriebene Anordnung. Die Versuche ergaben ausnahmslos ein ziemlich schnelles Absterben des Muskels, obgleich ein neben dem Muskel hängender feuchter blauer Lacmuspapierstreif sich nicht röthete. Der abgestorbene Muskel zeigte eine weisse, undurchsichtige Beschaffenheit und saure Reaction; er hatte ganz das Aussehen säurestarrer Muskeln (s. unter Kohlensäure).

Man kann nun entweder annehmen, dass wirklich das Stickoxydgas dem Muskel fest gebundenen Sauerstoff entziehe, und die dabei entstehende Untersalpetersäure dem Muskel die bezeichnete Beschaffenheit giebt, oder dass das Gewebe des Muskels noch eine geringe Menge absorbirten Sauerstoffs enthalten habe, welche die Säurebildung veranlasste. Obwohl die zweite Annahme aus mehreren Gründen unwahrscheinlicher ist als die erste, sehe ich doch kein Mittel, über den wahren Sachverhalt in's Klare zu kommen.

4. Kohlensäure.

Wie bereits *Liebig* (S. 406) gefunden hat ist die Kohlensäure ein schnell wirkendes Gift für den Muskel; derselbe stirbt in Kohlensäure schnell ab, wird weiss, undurchsichtig und leicht zerreiblich. Aehnliches fand *Ranke*, indem er Fröschen eine mit Kohlensäure imprägnirte 0,7 procentige Kochsalzlösung einspritzte**). Ich selbst fand ebenfalls ein schnelles Absterben der Muskeln, namentlich dünner Muskeln wie des Sartorius, nicht bloss wenn reine Kohlensäure, sondern auch wenn mit Kohlensäure gemischte Luft über den Muskel geleitet wird; das Weiss- und Undurchsichtigwerden tritt beim Sartorius äusserst schnell ein, bei dicken Muskeln zuerst in den peri-

*) A. a. O. Seite 472.

**) Untersuchung über die chemischen Bedingungen der Ermüdung des Muskels. No. II. Archiv von Reichert & du Bois-Reymond 1864. S. 320—348.

pherischen Schichten, während das Innere noch erregbar sein kann. Die Reaction wird deutlich sauer, und zwar nicht von Kohlensäure, sondern von einer fixen Säure, da das geröthete Lacmuspapier, wie bei der gewöhnlichen Säurereaction starrer oder tetanisirter Muskeln, auch beim Trocknen roth bleibt. Sobald einmal die Undurchsichtigkeit eingetreten ist, ist durch Einleiten von reiner Luft keine Restitution der Erregbarkeit möglich. Bei dicken Muskeln kann man aber beobachten, dass ein Stadium vorhergeht, in welchem die Erregbarkeit sinkt, und durch Luftzutritt wieder sich hebt; in diesem Stadium reagirt der Muskel von Kohlensäure sauer.

Wir haben es hier offenbar mit einer wahren Säurewirkung zu thun, die schliesslich zur Säurestarre führt. In der That verläuft der Process genau ebenso, wenn man den Muskel mit Luft, die durch Essigsäure geleitet ist, behandelt. Der eben geschilderte Reactionsbefund scheint anzudeuten, dass auch die durch Säuren eintretende Starre ein ziemlich complicirter Vorgang ist, bei welcher der Muskel selbstständig eine Säure entwickelt; vermuthlich aber erfolgt diese selbstständige Säurebildung des Muskels nur dann, wenn die Einwirkung der schädlichen Säure so allmählich vor sich geht wie bei der Kohlensäure.

Die Ergebnisse dieses Abschnittes lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

1. Die Gegenwart von Sauerstoffgas vermag das Absterben ausgeschnittener Muskeln etwas hinauszuschieben, — eine Wirkung, welche entweder durch eine geringe physiologische Sauerstoffaufnahme (direct nicht nachzuweisen) oder durch eine vollkommenere Wegschaffung der Kohlensäure (durch eine specifische Wirkung des Sauerstoffs?) zu erklären ist.

2. Diese Wirkung des Sauerstoffs ist nicht nachweisbar, wenn die Muskeln anhaltend in Thätigkeit erhalten werden.

3. Gleichzeitig existirt eine den Tod beschleunigende Wir-

kung des Sauerstoffs (durch Zerstörung der oberflächlichen Schichten). Bei dünnen Muskeln überwiegt diese zerstörende Wirkung über die erhaltende.

4. Wasserstoff, Stickstoff, Stickstoffoxydul, Kohlenoxyd sind für den Muskel indifferente Gase. Kohlensäure wirkt auf ihn wie jede Säure, nur langsamer. Die Wirkung des Stickoxydgases ist noch nicht festgestellt.

4. Abschnitt.

Folgerungen und weitere Versuche zur Physiologie des Muskels.

1. Die Sauerstoffaufnahme des ausgeschnittenen Muskels.

Die beiden letzten Abschnitte haben, gegenüber den bisherigen Anschauungen, ergeben, dass der ausgeschnittene, entblutete Froschmuskel aus der ihn umgebenden Atmosphäre entweder gar keinen oder nur äusserst geringe Mengen von Sauerstoff zu den in ihm vor sich gehenden physiologischen Processen aufnimmt, dass jedenfalls eine solche Sauerstoffaufnahme weder für den ruhenden noch für den thätigen Zustand bisher nachgewiesen ist. Vergleicht man hiermit die unzweifelhafte Thatsache, dass der im Organismus befindliche Muskel beständig aus dem Blute namhafte Sauerstoffquantitäten entnimmt, welche während des thätigen Zustandes sich bedeutend steigern, so deutet dies auf besondere Einrichtungen, welche im Organismus die Aufnahme des Sauerstoffs dem Muskel ermöglichen oder wenigstens erleichtern.

Man kann sich von diesen Einrichtungen verschiedene Vorstellungen machen. Diejenigen, welche dem ausgeschnittenen Muskel eine, wenn auch noch so geringe, so doch vorhandene physiologische Sauerstoffaufnahme zuschreiben, werden die viel beträchtlichere Auf-

nahme im Organismus mit Recht dem Umstande zuschreiben, dass der Sauerstoffträger, das Blut, im Inneren des Muskels überall vorhanden ist, und so jedem Theilchen der Muskelsubstanz die Zufuhr möglich wird, welche im ausgeschnittenen Muskel nur die mit dem Sauerstoffträger, der Atmosphäre, in Contact stehenden oberflächlichen Schichten, die tieferen aber nur durch einen trägen Diffusionsverkehr bewerkstelligen können. Die dieser Theorie anscheinend widersprechende Thatsache, dass an ausgeschnittenen Muskeln die oberflächlichen Muskelschichten, und ferner dünne Muskeln (Sartorius) nicht länger, sondern umgekehrt kürzere Zeit erregbar bleiben als die tieferen Schichten und dicke Muskeln, würde sich durch die gleichzeitige schädliche Wirkung des Sauerstoffs (durch die Oberflächenzehrung) erklären (vgl. S. 51).

Die zweite Art den Widerspruch zu erklären ist die Berücksichtigung der eigenthümlichen Form in welcher dem Muskel im Organismus der Sauerstoff zugeführt wird. Wir haben hier eine lockere chemische Verbindung desselben mit dem Hämoglobin der Blutkörperchen. Wir könnten uns vorstellen, dass die den Sauerstoff aufnehmende Substanz im Muskel zwar dem Sauerstoff-Hämoglobin*) Sauerstoff entziehen, nicht aber mit freien Sauerstoff sich verbinden könne.

Diese Vorstellung könnte auf den ersten Blick etwas Unwahrscheinliches haben; denn es scheint leichter für eine oxydirbare Substanz, freien Sauerstoff zu verzehren, als diesen erst einer, wenn auch noch so lockeren, chemischen Verbindung zu entziehen. Man muss sich aber erinnern, dass erstens der sogenannte freie Sauerstoff keine freien Affinitäten hat, sondern nach der jetzt allgemeinen Anschauung in einem Sauerstoffmolecül die Affinitäten zweier Atome sich gegenseitig sättigen; im Sauerstoffhämoglobin aber könnten leicht

*) Ich halte die in neuerer Zeit gebräuchlich gewordene Bezeichnung „Oxyhämoglobin" für nicht glücklich gewählt, da unter Oxysubstanzen in der organischen Chemie allgemein Oxydationsproducte verstanden werden, also ein Begriff, den man bei der Benennung der lockeren Sauerstoffverbindung des Hämoglobins gerade vermeiden sollte.

ungesättigte Affinitäten des Sauerstoffs vorhanden sein, ähnlich wie man sie jetzt im Ozon (nach *Soret**) besteht ein Ozonmolecül aus drei Sauerstoffatomen, in welchen zwei Affinitäten ungesättigt sind) oder im Wasserstoffsuperoxyd annimmt. In der That sind ja ozonartige Wirkungen des Sauerstoff-Hämoglobins längst bekannt und namentlich in letzter Zeit discutirt worden. An concreten Beispielen ferner für Oxydationen durch gebundenen Sauerstoff, wo freier Sauerstoff unwirksam ist, ist kein Mangel; es braucht nur an die Oxydationen durch Salpetersäure erinnert zu werden. Endlich aber werden wir sehen, dass die physiologische Sauerstoffaufnahme des Muskels gar nicht im gewöhnlichen Sinne als eine Oxydation zu bezeichnen ist, sondern einen so eigenthümlichen Process bildet, dass für sein Zustandekommen eine Verbindung wie das Sauerstoff-Hämoglobin möglicherweise eine wesentliche Bedingung sein könnte.

Indessen eine sorgfältige Erwägung der vorliegenden Verhältnisse zwingt uns, die Vorstellung eines directen Verkehrs des Hämoglobins mit der Muskelsubstanz fallen zu lassen. Erstens nämlich ist zu bedenken, dass diese in den Blutkörperchen enthaltene Substanz durch Plasma, Gefässwand und Sarcolemm von der eigentlichen Muskelsubstanz getrennt ist. Zweitens giebt es contractile, dem Muskelinhalt in jeder Beziehung nahestehende Organe, welche mit Blutgefässen gar nicht in Berührung sind, z. B. die Flimmerzellen. Drittens endlich haben die meisten wirbellosen Thiere trotz ihrer Muskeln, welche denen der Wirbelthiere allem Anschein nach völlig analog sind, gar kein hämoglobinhaltiges Blut.

Wir müssen also vor der Hand bei der zuerst erörterten Anschauung stehen bleiben. Hiernach wäre also die Muskelsubstanz im Stande aus der sie umgebenden mit diffundirtem Sauerstoffgas imprägnirten Flüssigkeit Sauerstoff aufzunehmen. Der Ersatz dieses Sauerstoffgases geschieht im Organismus aus dem Sauerstoff-Hämoglobin, welches an die zwischen ihm und der Muskelsubstanz befindliche Flüssigkeit Sauerstoff abgeben muss, sobald deren Gehalt an diffundirtem

---

*) Annal. der Chemie und Pharmacie CXXX. S. 95, CXXXVIII. S. 45.

Sauerstoff unter eine gewisse Grenze gesunken ist. Im normalen Zustand geschieht dieser Verkehr in allen Schichten des Muskels, weil diese sämmtlich mit Blutcapillaren in Berührung stehen. Im ausgeschnittenen Muskel dagegen sind die inneren Schichten so gut wie ganz von der Sauerstoffaufnahme ausgeschlossen, die oberflächlichen können zwar den Verkehr auch jetzt eingehen, verfallen aber gleichzeitig schnell vorschreitenden Zersetzungsprocessen, welche den erhaltenden Einfluss der Sauerstoffaufnahme sogar übercompensiren. Was also beim ausgeschnittenen Muskel durch Sauerstoffaufnahme noch conservirt wird, ist auf Rechnung der fast verschwindend kleinen, in das Innere hineindiffundirenden Sauerstoffmengen zu setzen.

Wir halten also nach sorgfältiger Erwägung aller Thatsachen folgendes fest:

Die normale Sauerstoffaufnahme des Muskels wird im ausgeschnittenen Muskel nur in sehr geringfügigem, mit Sicherheit nicht nachweisbarem Umfange fortgesetzt. Trotzdem setzt der ausgeschnittene Muskel seine physiologischen Functionen noch lange Zeit in fast unveränderter Weise fort; ob ihm jene geringe Sauerstoffaufnahme (durch Aufenthalt in Luft oder Sauerstoff) gestattet, oder (durch Fernhaltung des Sauerstoffs) verwehrt ist, ist für die Dauer des Ueberlebens fast gleichgültig. Dass im letzteren Falle nicht, wie man bisher annehmen konnte, das Leben des Muskels durch Verzehrung von in seinen Säften absorbirtem Sauerstoffgase gefristet wird, ergiebt sich daraus, dass solche absorbirte Sauerstoffquantitäten gar nicht existiren.

Die bei weitem grösste Menge des vom ausgeschnittenen Muskel wirklich aufgenommenen Sauerstoffs kommt auf Rechnung von nicht physiologischen Zersetzungsprocessen der Oberfläche.*)

---

*) Von der Ursache, warum die mit der Luft in Berührung befindliche Oberfläche des Muskels so schnell Zersetzungsprocessen anheimfällt, kann man sich verschiedene Vorstellungen machen. Wenn man dem Sauerstoff-Hämoglobin eine specifische Rolle für die Sauerstoffzufuhr zum Muskel zuschreibt, — eine Vorstellung, die wir aus den eben angegebenen Gründen fallen gelassen haben, — so könnte man annehmen, dass der Oxydationsprocess durch Sauerstoff ganz anderer Art sei, als der normale durch das Sauerstoff-Hämoglobin, dass ersterer eben ein wirklicher Zerstörungsprocess

Für sehr kleine contractile Organe, wie die Flimmerzellen, wird begreiflicherweise die Sauerstoffaufnahme nach der Entfernung aus dem Organismus nicht wesentlich verändert werden. Es wird also hier auch die Anwesenheit oder Abwesenheit des Sauerstoffs einen ungleich grösseren Einfluss auf die Dauer des Ueberlebens haben, als bei den Muskeln. Dies erklärt den Unterschied in dem Einfluss des Sauerstoffabschlusses auf diese Organe, wie ihn *Kühne* gefunden hat*), von dem bei dem Muskeln beobachteten. Uebrigens darf man nicht übersehen, dass bei diesen spontan sich bewegenden Organen der Sauerstoff möglicherweise noch eine ganz andere Rolle spielt, als bei den Muskeln, nämlich die des Erregers; deshalb ist, wie bereits S. 45 bemerkt, eine unmittelbare Vergleichung der spontan und der nur auf Reize thätigen contractilen Organe gar nicht zulässig.

2. Der Zustand des Sauerstoffs im Muskel.

Die Versuche des ersten Abschnittes haben ergeben, dass aus den Muskeln auf keine Weise sich gasförmiger Sauerstoff gewinnen lässt. Weder das Vacuum noch die Wärme vermag Sauerstoff aus ihnen auszutreiben, und dass auch die Behandlung mit fremden Gasen dies nicht vermag, lehrt die Erfahrung, dass indifferente Gase durchaus keinen unmittelbaren Einfluss auf die Muskelerregbarkeit ausüben.

Dass der Sauerstoff in den Muskeln fester gebunden sein muss, als in den Blutkörperchen, war vorauszusehen; man würde sonst nicht verstehen können, wie die Muskelsubstanz dem Sauerstoffhämoglobin, mittelbar oder unmittelbar, beständig Sauerstoff entziehen kann.

---

ist. Ferner kann man sich vorstellen, dass das schädliche Moment in dem grossen Ueberschusse des gegenwärtigen Sauerstoffs liege, unter welchem die Muskeln andere Processe durchlaufen, als im physiologischen Zustand, wo die zwischen ihnen und dem Hämoglobin vorhandene vermittelnde Flüssigkeit nur einen sehr geringen Sauerstoffgehalt haben kann (höchstens so gross als er der Sauerstoffspannung des arteriellen Blutes entspricht). Endlich drittens wäre es möglich dass die Luft durch die in ihr enthaltenen Keime Zersetzungsprocesse einleitet, die der Sauerstoffgehalt allein nicht bewirken würde.

*) Ueber den Einfluss der Gase auf die Flimmerbewegung. M. Schultze's Archiv f. mikroskop. Anatomie II. S. 372—378.

Der Umstand, dass die Sauerstoffaufnahme in den Muskeln nicht unmittelbar mit der Bildung der letzten bei den physiologischen Processen des Muskels auftretenden Oxydationsproducte verbunden ist, — eine Thatsache die bereits von vielen Untersuchern mit grösserer oder geringerer Bestimmtheit ausgesprochen worden ist, — hat zu der Hypothese geführt, dass der Sauerstoff im Muskel zunächst an einen fermentartigen Uebertrager gebunden werde, der ihn dann erst bei den schliesslich eintretenden Oxydationsprocessen auf andere oxydirbare Substanzen überträgt. Zuerst ist, soviel ich weiss, dieser Gedanke von *M. Traube* ausgesprochen worden*). Wenn es wirklich solche Uebertrager giebt, so ist es schwer sich vorzustellen, in welcher Weise sie den Sauerstoff gebunden enthalten. Fester ist diese Verbindung jedenfalls, als die des Sauerstoffs mit dem Hämoglobin, lockerer dagegen, als die in welche der Sauerstoff demnächst übergeht; einen Anhaltspunct bietet keine Erscheinung die man etwa im Verhalten des Muskels gegen fremde oxydirbare Substanzen gefunden hätte. Wir werden aber sehen, dass diese Vorstellung, so sehr sie auch dem Sachverhalt Rechnung trägt, unnöthig ist, und sich durch eine natürlichere ersetzen lässt.

Vorläufig halten wir also fest dass der vom Muskel aufgenommene Sauerstoff sofort in eine Verbindung übergeht, aus welcher wir ihn durch kein bekanntes Mittel trennen können.

3. Die Kohlensäurebildung im ausgeschnittenen Muskel.

Vor allen Dingen ist durch diese Untersuchungen mit voller Sicherheit dargethan, dass die Kohlensäurebildung im Muskel ein von der Sauerstoffaufnahme vollkommen unabhängiger Vorgang ist. Zwar hat schon *Liebig* gezeigt, dass der Muskel auch in sauerstofffreien Gasen Kohlensäure abgiebt; aber man konnte dieses Resultat erstens durch blosse Entleerung schon fertig

*) Ueber die Beziehung der Respiration zur Muskelthätigkeit und die Bedeutung der Respiration überhaupt. Virchow's Archiv XXI. S. 386.

gebildeter Kohlensäure und zweitens durch Verbrauch noch in den Säften des Muskels diffundirten Sauerstoffgases erklären. Nachdem aber gezeigt worden ist, dass Muskeln, die keine Spur von Sauerstoffgas enthalten, im Vacuum Kohlensäure nicht nur abgeben, sondern neu bilden, ist es ganz unzweifelhaft, dass die Muskelsubstanz ohne Gegenwart von Sauerstoffgas Kohlensäure bildet.

Ueber die Bedingungen, unter welchen im ausgeschnittenen Muskel Kohlensäure gebildet wird, und über die Mengen, in welchen sie entsteht, können nur die Evacuirungsversuche, die im ersten Abschnitt beschrieben sind, Aufschluss geben. Denn die Mengen, welche der Muskel unter gewöhnlichen Verhältnissen abgiebt, sind nicht beweisend, weil einmal der Muskel unter keinen Umständen ohne Anwendung energischer Mittel die in ihm enthaltene Kohlensäure vollständig abgiebt, und weil zweitens bei der Untersuchung in Luft oder Sauerstoff zu der physiologisch gebildeten Kohlensäure noch ein grosser Antheil durch Oberflächenzehrung entstandener hinzukommt. Es können deshalb weder die Versuche, bei welchen Muskeln in einem mit Luft oder sauerstofffreien Gasen erfüllten Raum aufbewahrt und nachher der Kohlensäuregehalt dieses Raumes ermittelt wird, noch Versuche wie die von *J. Ranke* angestellten*), in welchen kohlensäurefreie Luft durch den die Muskeln enthaltenden Raum hindurchgeleitet und nachher ihr Kohlensäuregehalt bestimmt wurde, etwas über den absoluten Kohlensäuregehalt und die Kohlensäurebildung der Muskeln aussagen.

Die Entgasungsversuche ergeben nun, dass ausgeschnittene Froschmuskeln beständig etwas Kohlensäure neu bilden, dass diese Kohlensäurebildung mit zunehmender Temperatur zunimmt, und bei Temperaturen zwischen 40 und 50° einen hohen Grad erreicht. Jeder ausgeschnittene Muskel hat das Vermögen eine bestimmte Quantität (freier) Kohlensäure zu erzeugen, welche unabhängig ist von den Zuständen, die der Muskel bis zur Erstarrung durchläuft; sie liegt bei verschiedenen Muskeln zwischen 9 und 12 Volumprocent (bei 0°

*) Tetanus. Eine physiologische Studie. Leipzig 1865. S. 151—167.

und 1 m. Druck) oder 0,018 und 0,024 Gewichtsprocent; die Vollendung dieser Kohlensäurebildung fällt mit der völligen Erstarrung zusammen, und alle Einflüsse, welche den Eintritt der Starre beschleunigen, beschleunigen auch die Kohlensäurebildung. Contractionen sind mit einer beschleunigten Kohlensäurebildung verbunden. Der Muskel kann jederzeit an der Vollendung seiner vollen Kohlensäureproduction verhindert werden durch starke Erhitzung (70^0) und durch den Zusatz von Mineralsäuren.

Es ergiebt sich hieraus, dass der Muskel, wie er aus dem Körper genommen wird, ein gewisses Quantum einer kohlensäurebildenden Substanz enthält. Da wir aus mannigfachen Erfahrungen berechtigt sind, die Kohlensäurebildung im Muskel mit dessen physiologischen Leistungen in den engsten Zusammenhang zu bringen, so müssen wir folgern, dass der Verbrauch jener kohlensäurebildenden Substanz auf das engste an die physiologischen Leistungen des Muskels geknüpft ist. Diese Substanz wird offenbar im Organismus fortwährend durch den Blutzutritt ersetzt; in welcher Weise die Blutzufuhr den Ersatz bewirkt, wird Gegenstand weiterer Erörterung sein. Ausserhalb des Organismus ist jedenfalls der Ersatz dieser Substanz nur in verschwindend kleinem Massstabe möglich. Der ausgeschnittene Muskel muss also mit dieser Substanz haushalten, nach ihrem Verbrauch ist fortan jede physiologische Leistung unmöglich, der Muskel ist todt. Dieser durch die Kohlensäurebildung sich documentirende Verbrauch findet, wie weiter unten gezeigt werden wird, beständig in langsamer Weise statt, durch Wärme wird er beschleunigt. Ebenso ist, wie wir bereits gesehen haben, jede Contraction mit einer Vermehrung desselben verbunden; bei $40-50^0$ läuft er rapide ab.

Ganz ähnliche Verhältnisse wie für die Kohlensäurebildung im Muskel, existiren für die Bildung der freien fixen Säure desselben, welche gewöhnlich als Milchsäure bezeichnet wird, und die auch wir hier aus Gründen der Kürze so bezeichnen wollen, mit dem ausdrücklichen Vorbehalt, dass die Identität derselben mit der Fleischmilchsäure noch nicht streng erwiesen ist.

Die freie Säure entsteht, wie *du Bois-Reymond* in einer bereits

mehrfach citirten classischen Arbeit gezeigt hat, bei der Contraction und beim Erstarren des Muskels. *J. Ranke* hat ferner gefunden, dass die Menge der bei der Starre gebildeten Säure für denselben Muskel gleich gross ist, mag er langsam (spontan) oder plötzlich (durch Erwärmen) erstarren, dass ferner diese Menge geringer ist, wenn der Muskel unmittelbar vor dem Ausschneiden tetanisirt worden war*). Hieraus scheint hervorzugehen, dass die beim Tetanisiren gebildete Säuremenge, welche vermuthlich durch die Circulation aus dem Muskel entfernt, oder in ihm neutralisirt worden ist, bei der Erstarrungs-Säurebildung in Abzug kommt. Dies würde zur Gewissheit erhoben werden, wenn sich fände dass ein ausgeschnittener, dann tetanisirter und endlich zur Starre gebrachter Muskel gleich viel freie Säure enthielte, als ein gleicher, ohne vorherigen Tetanus erstarrter Muskel, — ein von *Ranke* leider nicht angestelltes Experimentum crucis, dessen Resultat aber fast mit Sicherheit vorauszusehen ist.

Es ergiebt sich hieraus, dass der ausgeschnittene Muskel ein bestimmtes Quantum säurebildender Substanz enthält, welches durch langsame oder schnelle Erstarrung langsam oder schnell verbraucht wird, und von dem ein Theil auch durch Contraction verbraucht werden kann. Die (milch-) säurebildende Substanz verhält sich also genau so wie nach unsern Versuchen die kohlensäurebildende. Beide sind in bestimmter Quantität im Muskel vorhanden, welche sich unter gleichen Bedingungen verzehrt. Es ist daher höchst wahrscheinlich, dass diese beiden Substanzen nur eine einzige sind, dass Kohlensäure und Milchsäure aus der Zersetzung eines und desselben Muskelbestandtheils hervorgehen. Wir wollen diese Annahme, welche der einfachste Ausdruck der Thatsachen ist, bei der weiteren Betrachtung festhalten.

4. Natur der chemischen Processe im ausgeschnittenen Muskel.

Nachdem die vorhergehenden Abschnitte wie ich hoffe den wahren Sachverhalt betreffs der sog. „Athmung überlebender Muskeln"

*) A. a. O. S. 142—151.

dargelegt haben, ist es an der Zeit von neuem mit Hülfe der gewonnenen Ergebnisse die bisherigen Erfahrungen über den Verbrennungsprocess im Muskel zu durchmustern.

Der im Organismus befindliche Muskel nimmt beständig aus dem Blute Sauerstoff auf, und giebt Kohlensäure an dasselbe ab; beide Vorgänge sind im thätigen Zustande erhöht. Man weiss dies aus der alten Erfahrung, dass das Venenblut der Muskeln dunkler ist, als ihr Arterienblut, ferner aus der zuerst von *Bernard* gemachten Beobachtung, dass dieser Farbenunterschied bei der Contraction stärker wird*), endlich aus den Vergleichungen der Gase dieser Blutarten durch *Ludwig* und *Sczelkow*.**)

Während nun aber im Organismus beide Processe, die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureausgabe (selbst wieder das Resultat einer beständigen Kohlensäure bildung***), stets nebeneinander vorhanden sind, hat die Untersuchung des ausgeschnittenen Muskels ergeben, dass sie nicht untrennbar mit einander verbunden sind, ja dass im ausgeschnittenen Muskel von diesen beiden physiologischen Acten fast nur die Kohlensäurebildung erfolgt, die (physiologische) Sauerstoffaufnahme dagegen, wenn überhaupt, jedenfalls in so geringem Umfange selbst unter günstigsten Umständen, dass sie nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden kann. Jedenfalls aber kann man sie ganz ausschliessen und trotzdem (im Vacuum) die Kohlensäurebildung beobachten und ihre Gesetze feststellen.

Diese Feststellung und der Beweis der gänzlichen Unabhängigkeit der Kohlensäurebildung (und der mit ihr innig verbundenen Bildung fixer Säure) von der Sauerstoffaufnahme war ein Hauptresultat der hier mitgetheilten Versuche.

---

*) Vgl. unter andern: Cl. Bernard, Ueber den Sauerstoffgehalt des Venenblutes der drüsigen Organe im ruhenden und thätigen Zustande etc. (Uebersetzt aus Comptes rendus XLVII. 393.) Archiv v. Reichert & du Bois-Reymond 1859. (412 – 418) S. 417.

**) Sczelkow, Zur Lehre vom Gasumtausch in verschiedenen Organen. Wiener acad. Sitzungsberichte. Math.-naturw. Cl. XLV. S. 171 – 226.

***) Vgl. oben S. 24.

Der ausgeschnittene entblutete Muskel ist also eine dem physiologischen Einfluss des Sauerstoffs so gut wie ganz entzogene Vorrathskammer einer Kohlensäure (und fixe Säure) bildenden Substanz. Diese Substanz ist in beständiger*) langsamer chemischer Umwandlung begriffen, wobei diese zwei Producte, möglicherweise neben anderen, auftreten; diese Umwandlung die mit dem Verbrauch der Substanz endet, wird beschleunigt durch Muskelcontractionen und durch Wärme.

Diese Umwandlung ist nun offenbar das materielle Substrat der Muskelarbeit, des Freiwerdens von Kräften im Muskel. Wir sehen also deutlich, dass nicht die Sauerstoffaufnahme, nicht die eigentliche Oxydation, das Substrat der Muskelarbeit ist, sondern ein Vorgang der nichts mit Sauerstoffaufnahme zu thun hat.

Es ist nun eine ziemlich verbreitete Ansicht, dass alle Leistungen des Organismus durch Oxydationsprocesse zu Stande kommen. Jeder Unbefangene wird aber einsehen, dass diese Behauptung im strengen Sinne weder theoretisch noch practisch gerechtfertigt oder wenigstens, wenn man sich das Richtige dabei vorstellt, sehr unglücklich ausgedrückt ist. Auch wenn man, wie *Berthelot* in einem vor Kurzem erschienenen Aufsatze**) es thut, den Satz so fasst, dass jeder chemische Vereinigungsvorgang, also neben der Verbindung von Substanzen mit Sauerstoff, auch die Hydratation, die Salzbildung u. dgl., Substrat einer Kraftentwicklung, speciell Wärmebildung sein kann, sind die Bedingungen zu eng gefasst. Es kann nämlich offenbar auch Kraft frei werden durch das Gegentheil von chemischer Vereinigung, nämlich durch Zerfall chemischer Verbindungen: — unter einer Bedingung, nämlich der dass stärkere Affinitäten

---

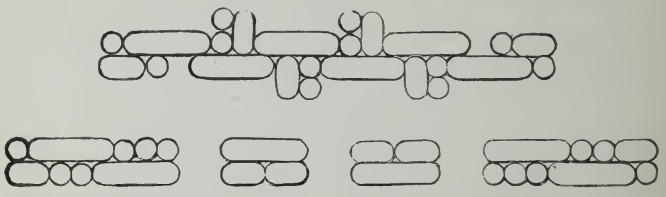
*) Der Beweis für das beständige Verlaufen dieses Processes, welches man wenn man will als Ausdruck eines allmählichen Erstarrens ansehen kann, kann erst im 5. Paragraphen vervollständigt werden.

**) Sur la chaleur animale. Journ. de l'anatomie et de la physiologie 1866.

durch den Zerfall gesättigt werden, als vorher gesättigt waren.

Ein naheliegendes Beispiel für diese Art des Zerfalls, welche mit Freiwerden von Kräften, mit Wärmeentwicklung verbunden ist, liefert die alkoholische Gährung des Zuckers. Der Atomcomplex $C_6 H_{12} O_6$ zerfällt hierbei ohne Sauerstoffaufnahme, und zwar in $2 C_2 H_6 O$ und $2 CO_2$, wobei Wärme frei wird. Man kann sich von der Ursache dieser Wärmeentwicklung vollkommen Rechenschaft geben, wenn man die (durch die Vergleichung der Verbrennungswärmen der Elemente gerechtfertigte) Annahme macht dass die Affinität des C zum O grösser ist als zum H und zum C. Im Zuckermolecül sind, die wahrscheinlichste Vorstellung seiner Constitution zu Grunde gelegt, die Affinitäten der C-Atome theils unter einander, theils durch H, theils durch eine Affinität des 2 werthigen O gesättigt (dessen zweite Affinität wiederum durch H gesättigt ist). Wie das beistehende, nach der *Kekulé*'schen Darstellungsweise entworfene Modell es verdeutlicht, werden durch den Zerfall 4 bisher durch H gesättigte C-Affinitäten durch C, und ausserdem eine Anzahl ungesättigter oder untereinander verbundener C-Affinitäten durch H gesättigt.

$C_6 H_{12} O_6$



$C_2 H_6 O$ CO_2 CO_2 $C_2 H_6 O$

Offenbar sind die durch Sättigung stärkerer Affinitäten entstehenden neuen Verbindungen stabiler, als die bis dahin vorhandenen, und man kann also den Satz auch so fassen: Kraft wird frei, wenn bei einem Zerfall von Atomcomplexen stabilere Atomcomplexe entstehen, und zwar soviel als der Unterschied in der

Anziehung der neuen Atomverbindungen von der der früheren beträgt*).

In diesem Sinne ist es also theoretisch vollkommen gerechtfertigt von einer Kraftentwicklung durch blosse Atomumlagerung zu sprechen, die wie bei der Zuckergährung mit einem Zerfall verbunden sein kann. Und so nehmen wir also an, dass bei der Muskelthätigkeit ein organischer Körper in stabilere Verbindungen zerfällt, und dadurch Kraft lebendig wird. Dieser zerfallende Körper ist nun ohne Zweifel die noch unbekannte, unter andern Kohlensäure und die fixe Säure bildende Verbindung, von welcher der ausgeschnittene Muskel einen gewissen Vorrath enthält. Von den entstehenden Zerfallproducten ist bisher nur die Kohlensäure und die fixe Säure (Milchsäure?) bekannt, in Betreff der übrigen sind wir zunächst auf Vermuthungen angewiesen.

Zur Begründung dieser ist es nöthig, den Vorgang näher ins Auge zu fassen, welcher in chemischer Beziehung mit der Contraction gewisse, zum Theil schon lange bekannte, zum Theil erst hier aufgedeckte Analogien zeigt, nämlich die Starre.

Die Todtenstarre, der durch Verkürzung des Muskels, Abscheidung eines Gerinnsels (Myosin), Säuerung und (vgl. Abschnitt 1) durch eine Kohlensäurebildung characterisirte Vorgang, wurde bekanntlich früher, als man nur die Verkürzung kannte, als ein den vitalen Contractionen völlig gleicher Act, als ein „letztes Aufflackern"

---

*) Von Alters her bezeichnen die Chemiker derartige Zerfallprocesse, welche ohne Einwirkung von Sauerstoff erfolgen, als Gährungsprocesse; den Gährungsprocessen in diesem Sinne würde daher der hier erörterte Vorgang am nächsten stehen. Eine Substanz, welche die Fähigkeit hat, unter Sättigung stärkerer Affinitäten zu zerfallen, muss offenbar beständig hierzu geneigt sein, wenn nicht eine hemmende Einrichtung entgegensteht; dies letztere scheint in der That bei den meisten gährungsfähigen Substanzen der Fall zu sein, da diese bekanntlich nicht spontan, sondern erst unter der Einwirkung eines „Ferments" zerfallen. Im Muskel haben wir aber eine anscheinend spontan zerfallende Substanz, deren Zerfall allerdings durch gewisse Einflüsse (Wärme, „Reize") beschleunigt werden kann.

der Lebensthätigkeit betrachtet. Die *Brücke*'sche Lehre, dass hier ein Gerinnungsvorgang vorliege*), warf, als sie durch *Kühne*'s Versuche zur Gewissheit erhoben wurde**), jene Vorstellung um. Als indess *du Bois-Reymond* den Zusammenhang der Säuerung mit der Starre, und ferner die Säuerung beim Tetanus entdeckte, lag eine neue Analogie mit der vitalen Contraction vor, und man konnte nun wie *du Bois-Reymond* selbst sogleich (jedoch diese Vorstellung ablehnend) bemerkte, die Contraction umgekehrt als eine wieder vorübergehende Erstarrung betrachten. Jetzt ist nun eine weitere Analogie zwischen Starre und Contraction aufgefunden, nämlich die Kohlensäurebildung. Es wird deshalb verzeihlich sein, wenn wir noch einmal auf den alten so oft vorgebrachten und immer wieder fallen gelassenen Gedanken zurückkommen.

Die früher gezogenen Parallelen zwischen Contraction und Starre hatten wesentlich die Aehnlichkeit der physicalischen Processe im Auge. Allein grade in diesem Puncte hat sich bisher nur eine höchst oberflächliche Analogie zwischen beiden Vorgängen ergeben, nämlich keine andre als die bei beiden vorhandene Verkürzung. Da aber die Contraction bei gerinnenden Eiweisskörpern eine ganz allgemeine Erscheinung ist, so hat, nachdem man einmal eine Gerinnung als wesentlichen Theil des Erstarrungsprocesses erkannt hat, eine Vergleichung auf dieser Basis keinen Sinn, zumal da grade ein Gerinnungsprocess bei der Contraction nicht nachzuweisen ist. Da nun ausserdem die übrigen physicalischen Erscheinungen des contrahirten und des starren Muskels durchaus keine Analogie zeigen, so ist schliesslich die Vergleichung in der alten Weise völlig haltlos.

Wir aber wollen, mit gänzlicher Beiseitelassung der physica-

---

*) Ueber die Ursache der Todtenstarre. Müller's Archiv 1842. S. 178—188.

**) Untersuchungen über Bewegungen und Veränderungen der contractilen Substanzen. 2. Theil. Archiv von Reichert & du Bois-Reymond 1859. S. 748—835.

lischen Vorgänge nur die chemischen Veränderungen beim Tetanus und bei der Starre mit einander vergleichen.

Bei beiden sehen wir nun eine Milchsäure- und eine Kohlensäurebildung, und zwar haben wir theils bestimmt, theils (aus *Ranke*'s Versuchen) mit grösster Wahrscheinlichkeit gesehen, dass der ausgeschnittene Muskel von beiden Substanzen beim Erstarren grade um so viel weniger bildet, als er vorher schon durch Contractionen geliefert hatte. Auf dieser Basis kann man mit fast absoluter Sicherheit den Satz aussprechen, dass der chemische Process, welcher die Milchsäure und die Kohlensäure liefert, bei der Contraction und beim Erstarren genau derselbe ist.

Wir haben nun aber im erstarrenden Muskel ausser der Milchsäure- und Kohlensäurebildung noch ein anderes Phänomen, nämlich die Ausscheidung des Myosingerinnsels, und hierzu findet sich im contrahirten Muskel anscheinend kein Analogon. Diese vorläufig festzuhaltende wesentliche Einschränkung der Verwandtschaft in den chemischen Processen bei der Contraction und der Erstarrung werden wir am besten würdigen können, wenn wir vorher der klaren Auseinandersetzung folgen, in der *du Bois-Reymond* jene beiden Processe vergleicht*). Dieser Forscher verwirft die Annahme dass der Process, namentlich die Säurebildung, in beiden Fällen identisch sei, aus folgenden Gründen, welche nach den bis jetzt bekannten Thatsachen völlig schlagend erscheinen müssen.

Der Hauptgrund ist der dass durch Tetanus gesäuerte Muskeln von Warmblütern nach dem Tetanus sich schnell erholen, unter Tilgung der sauren Reaction, anscheinend durch die Blutcirculation; diese Erholung ist aber nach *Kühne* — den Angaben von andern, namentlich *Brown-Séquard*, entgegen — bei starren Muskeln selbst durch die Blutcirculation unmöglich**). Da nun *Kühne* als sicheres Zeichen der Starre, also als Grenzscheide von wo ab die Restitution durch den Blutzufluss unmöglich ist, grade die saure Reaction be-

*) A. a. O. S. 321 ff.

**) Kühne, Müller's Archiv 1859. S. 757—764, 777—783.

nutzt, so würde also ein durch Tetanus sauer gewordener Muskel durch die Circulation restituirt werden können, ein durch Erstarren gesäuerter aber nicht.

Kühne bewirkte nun aber die Erstarrung durch Unterbindung oder Zuklemmung der zuführenden Arterien. Hierbei erreicht der Muskel, sobald die Erregbarkeit aufgehört hat, schnell das Maximum der Starre und eine intensiv saure Reaction. Es wäre denkbar, dass bei den Versuchen *du Bois-Reymond*'s durch den Tetanus dieser Grad der Säurung nicht erreicht werde, und dass bei einem gleich geringen Grade der Erstarrungssäuerung auch die Restitution durch den Blutstrom möglich sei. Eine zweite Erklärung der von beiden Forschern gefundenen Verschiedenheit könnte darauf basirt werden, dass in *du Bois-Reymond*'s Versuchen der Muskel keinen Augenblick dem Einfluss der Circulation entzogen war, während bei *Kühne* das Blut einen eine Zeit lang nicht vom Blut durchflossenen Muskel zu restituiren hatte; dass aber dieser Unterschied möglicherweise sehr wesentlich ist, wird Niemand leugnen.

Es lässt sich nun in der That zeigen, dass es möglich ist einen durch Entwicklung der Starre sauer gemachten Muskel zu restituiren, wenn nur die Circulation keinen Augenblick unterbrochen war. Ich bin zufällig hierauf aufmerksam geworden, als ich versuchte an lebenden Thieren ein Bein wärmestarr zu machen. Es wurden hierzu, um die Durchwärmung zu beschleunigen, kleine Kaninchen gewählt, deren eines Hinterbein, mit einem Gewichte beschwert, in einen Topf mit auf 50^0 gehaltenem Wasser eingetaucht wurde. Trotz der Dünne des Beins, bei welcher dasselbe nothwendig bald die tödtliche Temperatur erreichen muss, gelang es erst nach auffallend langer Zeit eine Lähmung des Beins zu constatiren. Freigelassen, war das Thier nach zwei Stunden vollkommen wieder seiner Muskeln mächtig. Da mir diese leichte Restitution einer anscheinend durch Wärmestarre bewirkten Lähmung auffiel, wiederholte ich den Versuch so, dass ich an einem andern kleinen Kaninchen beide Hinterbeine bis zur vollkommnen Lähmung in das warme Wasser tauchte, und dann sogleich die Reaction des einen Gastrocnemius prüfte. Dieselbe war schwach

aber sehr deutlich, sauer. Die Restitution der Beine erfolgte, bis auf den verletzten Muskel, genau wie vorher.

Es ist also, unter gewissen Bedingungen, — nämlich ununterbrochene Circulation und, vielleicht, nicht zu starke Säuerung, — eine Restitution starresaurer Muskeln durch den blossen Einfluss der Circulation möglich.

Als ein zweiter Grund gegen die Identität des chemischen Processes beim Tetanus und bei der Starre wird von *du Bois-Reymond* angeführt, dass auch ohne Circulation die bis zur Erschöpfung tetanisirten und sauren Froschmuskeln nach kurzer Zeit wieder der Erregung gehorchen. Der Schluss, welchen *du Bois-Reymond* hieraus zieht, nämlich dass man solche Muskeln nicht als starr bezeichnen dürfe und also nicht die saure Reaction durch den Tetanus als das Resultat einer durch Erschöpfung bewirkten Starre zu betrachten sei, ist völlig gerechtfertigt. Aber es giebt, wie sich experimentell erweisen lässt, ein Stadium in welchem man den Muskel als halbstarr bezeichnen kann, in welchem man ihm äusserlich noch nichts von Starre ansieht, in welchem er auf starke Reize noch reagirt, und dennoch bereits eine saure Reaction zeigt. Man kann sich einen solchen Muskel jederzeit leicht auf folgende Weise verschaffen. Ein gewöhnliches Luftbad, dessen Thür durch eine Glasplatte ersetzt ist und auf dessen Boden eine Schale mit Wasser sich befindet, wird auf etwa 40° C. erwärmt; zweckmässiger ist es, das Luftbad dadurch zu erwärmen dass man den Raum zwischen den beiden Blechmänteln mit warmem Wasser füllt und dies auf 40° erhält. In dem feuchten warmen Raume befinden sich, auf einer mit Korkfüssen versehenen Glasplatte, zwei Unterschenkel von demselben Frosche, jeder mit zwei Drähten so verbunden, dass man beliebig (mittels einer *Pohl*'schen Wippe mit ausgenommenem Kreuz) den einen oder den anderen durch einen Inductionsschlag reizen kann. Sobald das eine Präparat auf starke Schläge nur noch wenig reagirt, überzeuge man sich, dass das andere, bisher noch nicht gereizte noch eine deutliche Zuckung giebt und prüfe jetzt dessen Gastrocnemius auf seine Reaction. Man findet

sie deutlich und gleichmässig*) sauer, und kann auch nach der Durchschneidung des Muskels noch die Fragmente desselben zucken sehen. Die saure Reaction ist hier offenbar durch die beginnende Starre hervorgebracht, denn von einer Säurebildung durch Contraction kann hier nicht die Rede sein, da der geprüfte Muskel nur ein einziges Mal gereizt war. — Diese Muskeln behalten nun ihren Rest von Erregbarkeit, wenn sie in die Kälte gebracht werden, noch lange Zeit, ohne dass ihre saure Reaction verschwindet; nach einiger Zeit scheint jene sogar wieder etwas gestiegen, sie verhalten sich also ganz wie heftig tetanisirte und dadurch gesäuerte Muskeln.

Wir sehen also dass nach diesen Ergebnissen, wenn wir zunächst von dem Gerinnungsvorgang absehen, auch nicht der mindeste Grund mehr vorliegt, den chemischen Process während der Contraction und während des Erstarrens für verschieden zu halten.

Wir kehren nun zu der S. 71 verlassenen Frage zurück und betrachten den Gerinnungsvorgang selbst etwas genauer, wobei uns hauptsächlich die Angaben von *Kühne***) zur Richtschnur dienen. Die noch nicht geronnenen, von *Kühne* nach verschiedenen Methoden erhaltenen und als Muskelplasma bezeichneten Flüssigkeiten zeigen beim Gerinnen zuerst ein gelatinöses Erstarren der ganzen Masse (etwa vergleichbar dem ersten Stadium der Blutgerinnung), welches man nicht eher bemerkt, als wenn man die Masse auszugiessen versucht; man sieht dann, dass sie immer schwerer zu giessen ist und schliesslich kann man das Gefäss umkehren, ohne dass etwas ausfliesst. Erst nach dieser gelatinösen Gerinnung, welche optisch nicht nachweisbar ist, tritt ein zweites Stadium ein, in welchem starke Trübung bemerkbar wird, und eine Flüssigkeit („Muskelserum," *Kühne*) aus der erstarrten Masse austritt. Offenbar beruht dies auf einer Zusammenziehung des zuerst gelatinös durch die ganze Masse vertheilten Gerinnsels,

*) Ich habe mich wiederholt auf das Sorgfältigste davon überzeugt dass nicht etwa der rothe Fleck die Form eines Ringes hat; man kann also nicht einwenden, dass die äusseren Schichten des Muskels erstarrt, die inneren allein noch erregbar, diese aber nicht sauer seien.

**) Untersuchungen über das Protoplasma etc. S. 5 ff.

welche ganz vergleichbar ist der Zusammenziehung des Blutkuchens im Cruor.

Es liegt nun nahe, diese Verhältnisse auf den Muskel zu übertragen. Die Trübung und die starke Verkürzung des völlig starren Muskels entspricht offenbar dem zweiten Stadium der Myosingerinnung. Das erste muss aber schon vorher dagewesen sein. Dies erste Stadium können wir aber nicht erkennen; denn einmal ist dasselbe optisch nicht nachzuweisen, es wird sich weder durch Undurchsichtigwerden des Muskelröhreninhalts unter dem Microscop, noch durch Weisswerden des ganzen Muskels zu erkennen geben; ebensowenig aber wird es gelingen durch Consistenzveränderung des Muskels etwa wahrzunehmen, dass der flüssige Inhalt der Sarcolemmschläuche gleichsam schwerer zu giessen ist als vorher, dass er statt der flüssigen eine halbflüssige und schliesslich gelatinöse Beschaffenheit hat. Niemand wird wenigstens mit Sicherheit zu behaupten wagen, dass der der Starre nahe Muskel genau dieselbe Consistenz habe, wie ein ganz frischer; eher würden sich Stimmen für das Gegentheil finden. Um diese Frage zu entscheiden müsste erst wieder der glückliche Zufall eintreten, dass ein Beobachter ein lebendes Wesen in einer lebenden Muskelfaser umherschwimmen sähe, ohne dass künstlich die Starre plötzlich herbeigeführt wird;*) vielleicht würde man dann erkennen, dass das Thier bereits vor dem Eintritt der Trübung durch das Gelatinöswerden des Inhalts an seinen Bewegungen verhindert wird.

Wenn wir nun fast mit Sicherheit behaupten können, dass vor der vollkommenen, mit Verkürzung verbundenen Starre bereits eine nicht erkennbare gelatinöse Myosinausscheidung im Muskelinhalt vorhanden ist, so ist es ein gewiss berechtigter Schritt, nachdem sich in chemischer Beziehung eine sonst ganz vollkommene Gleichheit zwischen dem Erstarrungs- und dem Contractionsprocess herausgestellt hat, diese auch auf dieses erste, gallertige Stadium der Myosinausscheidung auszudehnen, und anzunehmen, dass beim Tetanus, wie beim

*) Vgl. W. Kühne, Eine lebende Nematode in einer lebenden Muskelfaser beobachtet. Virchow's Archiv XXIV. S. 222—224.

Erstarren eine Kohlensäurebildung, eine Bildung freier Säure und Bildung einer gallertigen Myosinausscheidung stattfindet. Dies ist der Zustand, welchen ich auf S. 73, freilich mit einem nicht ganz befriedigenden Ausdruck, als „halbstarr" bezeichnet habe. Die volle Starre aber entspricht der Zusammenziehung des Gerinnsels, welche mit Verkürzung des Muskels verbunden sein muss*).

Wir sind also jetzt scheinbar zu einer sehr alten Anschauung zurückgekehrt, nämlich dass Contraction und Starre ein und derselbe Act sei; aber man wird sofort erkennen, dass grade der Punct, welcher früher zu dieser Anschauung geleitet hat, nämlich die Verkürzung, nach unseren Anschauungen nichts mit dieser Frage zu thun hat; während die Verkürzung des lebenden Muskels ein noch völlig unerklärter Molecularvorgang ist, haben wir in der Verkürzung der Starre nur die Contraction eines Gerinnsels wie sie bei so vielen Eiweisskörpern vorkommt. An den neueren von *Brücke* herstammenden geläuterten Anschauungen über das Wesen des Starreprocesses wird also durch das hier Erörterte nichts geändert.

Ich gehe nun daran die hier gewonnene Anschauung zu verwerthen und mit anderen bereits bekannten Thatsachen in Einklang zu bringen.

Wir haben bereits gesehen, dass die Behauptung, ein starrer Muskel könne auf keine Weise wieder in's Leben zurückgerufen werden, nur bedingt richtig ist, wenn man als Kriterium der Starre nur Unerregbarkeit und saure Reaction aufstellt. In der That kann die blosse Blutzufuhr durch Wärme unerregbar und sauer gemachte Muskeln wieder restituiren, grade so wie durch Tetanus unerregbar und sauer gemachte. Dies tritt aber nur ein, wenn die Blutzufuhr während des Versuchs nicht unterbrochen war. Es liegt nun nahe zu schliessen, dass die fortwährende Circulation die Ausbildung einer so

*) Man braucht hierzu nur sich vorzustellen, dass das Gerinnsel fest am Sarcolemm haftet, wie an der Gefässwand in Kühne's Versuchen; wenn das Gerinnsel sich dann allseitig zusammenzieht und also die kleinste Oberfläche zu gewinnen sucht, so muss Verkürzung und Verdickung des Muskels die Folge sein; bekanntlich presst der Muskel hierbei Flüssigkeit aus.

vollkommenen Starre, wie sie bei abgeschlossener Circulation möglich ist, verhindert, und dass nur der ganz vollkommen starre Muskel rettungslos verloren ist. Wir haben aber als unterscheidendes Merkmal des vollkommen starren Muskels die Contraction des Myosingerinnsels und die damit verbundene Verkürzung des Muskels kennen gelernt; diese wird aber in der That bei dem S. 72 beschriebenen Verfahren nicht erreicht. (Weiteres hierüber s. im 6. Paragraphen.)

Während also die gelatinöse Myosinabscheidung eine Restitution des Muskels durch das Blut nicht ausschliesst, ist diese nicht mehr möglich, sobald das Gerinnsel sich zusammengezogen hat.

Aber auch im letzteren Fall ist, wie *Preyer* an Froschmuskeln gezeigt hat,*) eine Restitution noch möglich, wenn man vor der Einwirkung der Circulation den Muskel in 10procentiger Kochsalzlösung badet; diese löst nach *Kühne* das feste Myosingerinnsel auf und macht die weissen Muskeln wieder hell und durchsichtig (zugleich neutral**). Wieder also sehen wir, wie oben, dass der Aggregatzustand des Myosins, — ob fest, oder mehr oder weniger flüssig, — für die Restitution des Muskels durch das Blut von grösster Bedeutung ist, — ein Umstand, auf den wir sogleich zurückkommen werden.

Kehren wir nun zu der Aufgabe, von welcher wir (S. 69) ausgegangen sind, zurück, nämlich zur Aufsuchung der Producte, welche bei der Contraction im Muskel auftreten, so haben wir jetzt zu der sicher constatirten Kohlensäure und fixen Säure (Milchsäure)

*) Die Wiederbelebung todtenstarrer Muskeln. Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1864. S. 769—773. — Rétablissement de l'irritabilité des muscles roides. Recueil des travaux de la société méd. allemande d. Paris. 1865. S. 37—54. — Ich habe mich von der Richtigkeit der Preyer'schen Angaben durch Wiederholung der Versuche überzeugt; für das Gelingen derselben scheint es wesentlich möglichst kleine Frösche zu verwenden, deren Muskeln viel leichter von der Kochsalzlösung durchtränkt werden.

**) Von der Restitution der neutralen Reaction durch 10procentige Kochsalzlösung habe ich mich wiederholt überzeugt.

mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit eine gallertige Myosinausscheidung hinzuzufügen, und müssen die Möglichkeit im Auge behalten, dass diese Myosinausscheidung ein Zerfallproduct derselben im lebenden Muskel enthaltenen Substanz sei, von deren übrigen Producten wir bereits die Kohlensäure und Milchsäure kennen. Diese Vorstellung sieht die Myosinausscheidung nicht als einfache Fällung eines bereits vorhandenen, gelösten Körpers an, sondern als einen neugebildeten Körper. Obwohl vielfach angegeben wird, der Muskel enthalte einen spontan coagulirenden Eiweisskörper, das Myosin, ist dies von *Kühne* selbst in Wahrheit nirgends ausgesprochen worden; er hat sehr richtig nur das Muskelgerinnsel als Myosin bezeichnet, und also stillschweigend die Frage offengelassen, ob dasselbe einfach eine Fällung eines damit identischen gelösten Körpers sei, oder ob es in irgend welcher anderen Art auftrete. Die oben berührte Anschauung, an deren Erwägung wir sogleich gehen werden, steht also mit den Angaben *Kühne*'s keineswegs in Widerspruch.

5. Die chemischen Processe im Muskel des lebenden Thieres.

Während wir im ausgeschnittenen Muskel nur den mit Contraction und Erstarrung verbundenen Zerfallprocess (S. 69) constatiren konnten, andere entgegengesetzte (Restitutions-)Processe aber, wenn diese durch Sauerstoffaufnahme characterisirt sind, entweder gar nicht oder doch in nicht nachweisbarem Maasse vorkommen, haben wir in den Muskeln des unverletzten Organismus offenbar beide Processe neben einander. Der Uebergang zu diesen ist also ein Fortschreiten vom Einfacheren zum Complicirteren.

Ehe wir nun zur Betrachtung des hier allein nachweisbaren Restitutionsprocesses übergehen, ist zuerst ein den Zerfallprocess betreffender Gegenstand zu erledigen, welcher wie wir sehen werden, ebenfalls nur am unversehrten Organismus zu untersuchen ist.

Es ist dies nämlich das Verhalten des Muskels im vollkommenen Ruhezustande, von welchem bisher, am ausgeschnittenen Muskel, noch nicht die Rede war.

Dass im ruhenden Muskel chemische Processe vor sich gehen müssen ist ein aus der Berücksichtigung des ruhenden Muskelstroms sich ergebendes Postulat. Es sind hier electrische Spannungen vorhanden, die in beständiger Abgleichung begriffen sind, also, da sie beständig von Neuem nachweisbar sind, sich immer wieder erzeugen; dies ist aber nur denkbar, wenn ein beständiger chemischer Process zu Grunde liegt. — Ein solcher ist nun aber am ruhenden ausgeschnittenen Muskel nicht nachgewiesen. Dass die sog. „Athmung überlebender Muskeln" weder eine vitale Sauerstoffaufnahme noch (im Ruhezustande) eine vitale Kohlensäureausgabe beweist, ist im zweiten Abschnitt erläutert worden; nun zeigen zwar die zerkleinerten Muskeln im Vacuum eine beständige langsame Kohlensäureentwicklung; aber es liegt nahe, diese zunächst dem gleichzeitig ablaufenden Erstarrungsprocesse zuzuschreiben (S. 16).

Für den ruhenden Muskel im Organismus ist nun aber eine beständige Kohlensäureausgabe (und Sauerstoffaufnahme) durch *Bernard* und *Ludwig & Sczelkow* nachgewiesen; dass dieselbe nicht etwa dem „Tonus," also einer Contraction, zuzuschreiben ist, ergiebt sich einfach daraus dass die Durchschneidung des Nerven auf die Färbung des Muskelvenenblutes keinen Einfluss hat. Jedenfalls also kommt dem ruhenden Muskel ein wenn auch schwacher Stoffwechsel zu, der nur beim ausgeschnittenen Froschmuskel nicht nachzuweisen ist; beim Frosch ist überhaupt in der Ruhe dieser Vorgang sehr geringfügig (worauf wir sogleich zurückkommen), wie sich aus der fast gleichen Färbung des Arterien- und Venenbluts der Frösche ergiebt; unsere Methoden sind aber zu unvollkommen um so geringe Gaswechselgrössen unabhängig von Zersetzungseinflüssen zu constatiren.

Es liegt nun ausserordentlich nah, wie es auch schon oft geschehen ist, den chemischen Process im ruhenden Muskel für qualitativ identisch zu halten mit dem des Erstarrens. Nach dieser Vorstellung geht also im ruhenden ausgeschnittenen Muskel sehr langsam ein chemischer Process vor sich, der mit der Starre endigt, durch Wärme beschleunigt wird, und bei 40^0 (für Froschmuskeln) momentan abläuft. Nach unserer Vorstellung ist derselbe ein Zerfallprocess, bei

welchem (unter andern) Kohlensäure, Milchsäure und eine gallertige Myosinausscheidung auftreten. Die Contraction ist mit einer momentanen Beschleunigung dieses Processes verbunden. — Die Geschwindigkeit dieses spontan ablaufenden Processes ist vermuthlich im Muskel des Kaltblüters viel geringer als in dem des Warmblüters; daher lebt ersterer nach dem Ausschneiden oder der Circulationshemmung viel länger als letzterer, wenn beide auf gleich niedrige Temperatur gebracht sind. Die zerfallende Substanz ist also wahrscheinlich im Warmblüter von andrer (noch weniger beständiger) Beschaffenheit als im Kaltblüter.

Ein Einwand, welcher scheinbar dem eben Erörterten entgegensteht, ist das Fehlen der sauren Reaction in selbst lange in Ruhe aufbewahrten Froschschenkeln. Allein es ist durchaus zu berücksichtigen, dass der Nachweis der gebildeten Säure erst dann möglich wird, wenn das Alkali der Muskelgewebe völlig gesättigt ist; dieser Nachweis ist daher von den mannigfachsten Bedingungen abhängig. Er gelingt z. B. nie bei einer einfachen Zuckung; trotzdem steht Niemand an hier so gut wie beim Tetanus eine Säurebildung anzunehmen. Beim Hunde misslang *du Bois-Reymond* (a. a. O. S. 317) selbst beim Tetanus der Säurenachweis, vermuthlich weil die Hundemuskeln ausnehmend alkalisch sind (was vielleicht mit ihrem starken Hämoglobingehalt in causalem Zusammenhang stehen mag*). —

Fassen wir nun den Restitutionsprocess näher ins Auge, welcher in den Muskeln des lebenden Thieres offenbar unter dem Einfluss der Circulation beständig von Statten geht, im ausgeschnittenen Muskel aber wie wir gesehen haben, fehlt oder wenigstens nur in minimaler Grösse vorhanden ist.

Wir haben den chemischen Process bei der Thätigkeit des Muskels als den Zerfall einer noch unbekannten (stickstoffhaltigen) Substanz angesehen, wobei (unter andern) Kohlensäure, Milchsäure und ein gallertig auftretender Eiweisskörper als Producte entstehen. Folgerecht müssen wir die Restitution des Muskels als einen Ersatz

*) Kühne, über den Farbstoff der Muskeln. Virchow's Archiv XXXIII. S. 79—96.

jener unbekannten Substanz und Wegschaffung der Zerfallproducte betrachten. Dieser Ersatz geschieht unter dem Einflusse des Blutes und es ist nun unsre Aufgabe zu überlegen, welche Anhaltspuncte für die Natur dieses Vorganges bereits zu gewinnen sind.

Offenbar kann die Integrität des Muskels entweder dadurch erhalten werden, dass das Blut alle Zerfallproducte der verbrauchten Substanz wegführt, und dafür neue Portionen der letzteren fertig gebildet herbeischafft, oder es kann eine Neubildung der verbrauchten Substanz, eine wahre Synthese, in der Weise geschehen, dass das Blut nur einen Theil der Zerfallproducte wegführt, dafür andre Ingredientien herbeischafft, und diese mit dem Reste der Zerfallproducte zum Aufbau der Substanz verwandt werden.

Offenbar haben wir uns für das letztere zu entscheiden. Denn wir wissen: 1. dass das Blut dem Muskel beständig, und in vermehrtem Maasse dann wenn der Verbrauch im Muskel am lebhaftesten ist, nämlich während des Tetanus, eine Substanz zuführt, die zur Restitution in engster Beziehung steht, und doch nicht jener fertig gebildete Körper ist, — nämlich Sauerstoff; — 2. dass von den Zerfallproducten wirklich nicht alle aus dem Muskel räumlich entfernt werden: Es wird nämlich sicher entfernt die Kohlensäure, vielleicht auch die Milchsäure*), dagegen sicher nicht entfernt das Myosin, denn wenn dies der Fall wäre, so müsste die Stickstoffausscheidung des Gesammtorganismus zur Zeit der Muskelarbeit gesteigert sein, was nach den besten Untersuchungen nicht der Fall ist (vgl. hierüber unten).

Dies (und noch andere weiter unten zu erörternde Umstände) nöthigt uns also zu der Anschauung, dass die Restitution des Muskels ein synthetischer Process ist, zu welchem das Blut Sauerstoff und jedenfalls (für die weggeführte Kohlensäure) einen kohlenstoffhaltigen Körper liefert, der Muskel aber das vom Zerfall herrührende

*) Du Bois-Reymond hat nachgewiesen, dass die freie Säure bei der Restitution des Muskels verschwindet und es wahrscheinlich gemacht, dass sie durch das Blut neutralisirt und als Salz fortgeführt wird (a a. O. S. 319 und 323).

Myosin und möglicherweise auch die aus derselben Quelle stammende Milchsäure; ob letztere vom Blute aus dem Muskel ausgewaschen wird, oder wie das Myosin im Muskel verbleibt und ebenfalls in die Synthese mit eingeht, ist noch unbekannt.

Für das Wesen des Restitutionsprocesses sind die bereits oben (S. 77) erwähnten *Preyer*'schen Versuche von grosser Wichtigkeit. Sie zeigen nämlich, worauf auch die Seite 72 angeführten Versuche deuten, dass der Aggregatzustand des Myosins für die Möglichkeit der Restitution des Muskels durch das Blut entscheidend ist; ist das ausgeschiedene Myosin einmal contrahirt, also fest geworden, so ist der Restitutionsprocess durch das Blut unmöglich; bringt man das Gerinnsel wieder in Lösung (durch 10procentige Kochsalzlösung), so kann das Blut seine Wirkung ausüben. Die Lösung des Myosins allein restituirt nun aber den Muskel keineswegs, auch wenn man wie ich es gethan habe, die vermuthlich schädliche 10procentige Kochsalzlösung durch wiederholtes Baden des Muskels in $^1/_2$procentiger aus demselben verdrängt; das Blut erst bewirkt die Restitution. Eine bessere Stütze für die eben ausgesprochene Anschauung kann es kaum geben, denn in diese übertragen lautet das Ergebniss dieser Versuche: Die Synthese jener im Muskel angenommenen Substanz wird unmöglich: 1. wenn die Blutzufuhr fehlt, welche wesentliche Ingredientien dazu liefert, 2. wenn das wesentliche Ingrediens, welches der Muskel liefert, nämlich das halbflüssige Myosin, sich fest contrahirt hat (corpora non agunt nisi soluta); es müsste denn wieder künstlich gelöst sein.

Noch einige Worte über das Wesen jener Substanz im Muskel, an deren Zerfall (S. 69) allem Anscheine nach der Contractions- und der Erstarrungsprocess geknüpft sind. Dieselbe ist nach dem hier Gesagten ein höchst unbeständiger, im Muskelinhalt gelöster Körper, der schon bei Zimmertemperatur schnell unter Bildung von Kohlensäure, Milchsäure und einem zuerst gallertigen, dann flockigen Myosingerinnsel zerfällt; anscheinend kann sie nur bei Temperaturen von höchstens 0^0 dauernd bestehen. *Kühne* ist bis jetzt ihrer Darstellung am nächsten gekommen, da sie in dessen auf verschiedene Weise ge-

wonnenem „Muskelplasma“ gelöst enthalten ist, freilich gemischt mit einer Anzahl anderer, namentlich eiweissartiger Körper. In Bezug auf Complicirtheit der Zusammensetzung würde sie etwa mit dem Hämoglobin in gleicher Linie stehen, welches ja ebenfalls complicirter gebaut ist als die Eiweisskörper, indem es unter seinen Zersetzungsproducten einen Eiweisskörper liefert. Ihre Reindarstellung dürfte deshalb ungemein schwer nur gelingen, weil alle Operationen unter 0^0 vorgenommen werden müssten; denn wenn auch plötzliche starke Erhitzung (Brühung) oder Behandlung mit Säuren, wahrscheinlich auch Alkohol, die Fähigkeit zu der spontanen Zersetzung in der oben erörterten Weise aufhebt, so ist es doch fast gewiss, dass diese Einflüsse den Körper in höchst eingreifender Weise verändern. (Vgl. Anhang 1.)

Nachdem wir nunmehr eine neue Anschauung über die Natur des chemischen Processes bei der Muskelaction in der Ruhe, der Contraction und dem Erstarrungsvorgang und über die Art der Restitution durch das Blut begründet haben, ist es unsre Aufgabe, die bisher vorliegenden Angaben über diese Processe kurz zu erörtern. Dieselben beschränken sich fast ganz auf den chemischen Process bei der Contraction.

Man hat auf zwei Arten Aufschlüsse über diesen Vorgang zu erhalten gesucht, nämlich entweder durch Vergleichung der Zusammensetzung in Ruhe und in Contraction gewesener Muskeln, oder durch Vergleichung des Stoffwechsels des Gesammtorganismus bei Ruhe und Arbeit. Die Ergebnisse beider Methoden stimmten meist nicht sonderlich mit einander überein.

Von vorn herein kann man sagen, dass die Resultate der letzteren Art unbedingt schwerer wiegen müssen, als die der ersteren. Denn da der Muskel ein höchst complicirtes Organ ist, in welchem neben den physiologisch wesentlichen Processen gewiss auch weniger wesentliche, z. B. Wachsthums- und Abnutzungsprocesse (im gröberen Sinne) verlaufen (s. hierüber den Schluss dieses Abschnitts), so sind wir, selbst wenn irgend eine geringfügige chemische Veränderung

beim Tetanus nachgewiesen ist, noch nicht berechtigt diese als Substrat des Krafterzeugungsvorgangs zu erklären; möglicherweise ist sie ganz unwesentlicher, nur accessorischer Natur, und die eigentliche wesentliche Veränderung ist unbemerkt geblieben. Wir werden aber sehen, dass bei sämmtlichen bisher publicirten directen chemischen Vergleichungen das letztere sogar mit Nothwendigkeit durch das Versuchsverfahren bedingt war.

Bei allen diesen Versuchen, von den ältesten (*Helmholtz*'schen) ab bis auf die neuesten, wurden nämlich die tetanisirten und die nicht tetanisirten Muskeln nach dem Wägen irgend welcher chemischen Behandlung unterworfen (gewöhnlich Extraction mit allmählich erwärmtem Wasser), ohne Rücksicht auf die dadurch fast stets nothwendig bewirkte Erstarrung. Wie nun aber, wenn, wie wir es hier theils nachgewiesen theils wahrscheinlich gemacht haben, der vollkommen erstarrte Muskel stets gleiche Zusammensetzung hat, mag er nun vorher (nach dem Ausschneiden) in Ruhe oder im Tetanus gewesen sein? Wenn aber das Tetanisiren im Körper selbst vorgenommen ist, so müsste man aus den Unterschieden der nachher erstarrten Muskeln doch nach unsern Vorstellungen grade die entgegengesetzten Resultate ziehen, als die bisherigen Forscher. Ein Beispiel mag dies klar machen: *Ranke* hat den Säuregehalt von geruhten und im Körper tetanisirten Muskeln nach der Erstarrung verglichen; jene enthielten mehr Säure; — ohne Berücksichtigung der Erstarrung müsste man hieraus schliessen, dass der Tetanus Säure vernichtet! Offenbar kann jenem Fehler nur vorgebeugt werden durch sofortige Brühung oder ähnliche Behandlung des Muskels in dem physiologischen Zustande, in welchem seine Zusammensetzung quantitativ bestimmt werden soll. Dies ist aber von keinem der bisherigen Untersucher beachtet worden; folglich muss ich von dem hier gewonnenen Standpunct aus die Beweiskraft der Versuche für den essentiellen Process im Muskel in Abrede stellen. Der sicher constatirten chemischen Veränderungen bei der Contraction kennen wir daher durch unmittelbare Untersuchung des Muskels nur zwei: Die erste ist die von *du Bois-Reymond* durch unmittelbare qualitative Prüfung entdeckte, die Säuerung, die zweite

die hier durch Auskochen gebrühter Muskeln constatirte Kohlensäurebildung.

In der That nun lässt sich die Unzulässigkeit aller übrigen Behauptungen betreffend quantitative Veränderungen durch den Tetanus darthun, theils durch direct entgegenstehende Angaben anderer Forscher, theils durch den Nachweis ungenügender Berücksichtigung der Fehlerquellen, theils endlich durch den Widerspruch der Erfahrungen am Gesammtorganismus, auf deren überwiegende Beweiskraft wir soeben hingewiesen haben.

Die allgemeinste Angabe ist die dass stickstoffhaltige Substanzen (Eiweisskörper) bei der Muskelarbeit zersetzt werden, unter Auftreten stickstoffhaltiger Oxydationsproducte, unter denen namentlich Kreatin aufgeführt wurde. Diesen Angaben widerspricht folgendes: 1. die Erfahrungen am Gesammtorganismus (vgl. unten); 2. der Umstand dass die von Einigen (*Liebig*,*) *Sorokin*,**) *Sczelkow****) gefundene Kreatinvermehrung in den ebenso exacten Versuchen von *Nawrocki*†) nicht gefunden wurde; — über die wahrscheinliche Ursache dieses verschiedenen Befundes vergleiche man den Schluss dieses Abschnitts; 3. den Stickstoffgehalt des trocknen Rückstands ruhender und (im Organismus) tetanisirter Froschmuskeln hat *Ranke* gleich gross gefunden††); — er schliesst zwar hieraus, da letztere nach ihm wasserreicher sind als erstere, einen Stickstoffverlust des Gesammtmuskels beim Tetanus; allein dieser Schluss ist ganz ungerechtfertigt, da nicht nachgewiesen ist, ob der grössere Wassergehalt der tetanisirten Muskeln wirklich von einem Verlust an fester

---

*) Chemische Untersuchung über das Fleisch etc. Heidelberg 1847; eine experimentelle Vergleichung ruhender und tetanisirter Muskeln liegt hier nicht vor.

**) Sorokin (gedruckt steht Sarokow), Beitrag zur Physiologie des Muskelstoffwechsels. Virchow's Archiv XXVIII. S. 544—552.

***) Ueber Kreatingehalt der Muskeln. Centralbl. f. d. med Wissensch. 1866. S. 481—482.

†) Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1865. S. 417, 1866. S. 625; Ztschr. f. analyt. Chemie. IV. S. 330—348.

††) A. a. O. S. 204—207.

Substanz und nicht vielmehr auf Wasseraufnahme beruht; wäre ferner die *Ranke*'sche Auffassung richtig, so hätte man die im hohen Grade unwahrscheinliche und durch andere Versuche *Ranke*'s selbst widerlegte*) Annahme zu machen, dass von dem zersetzten stickstoffhaltigen Körper sämmtliche Zersetzungsproducte vollständig bis auf die letzte Spur oder doch in genau äquivalentem Massstabe aus dem Muskel entfernt worden seien, denn wenn nur einer davon in grösserer Aequivalentmenge als die übrigen zurückbleibt, so muss sich der N-Gehalt des trockenen Rückstands ändern; vielmehr muss der Fund *Ranke*'s grade umgekehrt jedem Unbefangenen als ein Beweis erscheinen, dass kein Stickstoff aus dem Muskel bei der Contraction ausgeschieden wird.

Ebensowenig wie die eben besprochene Bildung N-haltiger Oxydationsproducte können die übrigen, im wesentlichen von *Ranke* herrührenden Angaben über quantitative Veränderungen beim Tetanus, Beweiskraft für das Wesen des der Contraction zu Grunde liegenden chemischen Processes beanspruchen. *Ranke* hat eine Zunahme des Fettgehalts und des Zuckergehalts im tetanisirten Muskel behauptet, und darauf im Verein mit den bereits besprochenen Ergebnissen eine Theorie des Stoffwechsels im Muskel begründet (a. a. O. S. 216). Was den Fettgehalt betrifft, so betrug derselbe bei ruhenden Muskeln im Mittel 0,606, bei tetanisirten 0,655 pCt.; *Ranke* sagt (S. 196): „Dieses Fett, das sich nach dem Tetanus vermehrt findet, kann nur aus den Muskelstoffen selbst entstanden sein, da der Tetanus an dem ausgeschnittenen blutfreien Muskel hervorgerufen wurde;“ den Einwand, dass der an sich vielleicht ganz fettfreie Muskel ein an Fetten, oder wenigstens durch Aether oder Alkohol extrahirbaren Substanzen sehr reiches Gewebe, nämlich die intramusculären Nerven enthält, hat er kurz zuvor mit der Behauptung abgefertigt (S. 191), dass ihm die normal im Muskel sich findende Fettmenge zu gross scheine um

*) Ranke findet nämlich mehrere Zersetzungsproducte im tetanisirten Muskel (also erst recht in dessen trockenem Rückstande) vermehrt, z. B. Fett und Zucker (vgl. unten).

allein auf die in demselben vorhandenen Nervenausbreitungen bezogen werden zu können; die Bemerkungen über fettige Degeneration und Leichenwachsbildung können natürlich zu der vorliegenden Frage nichts beitragen; nichts liegt in der That näher, als die geringe (0,051 pCt.) Fettzunahme des Muskels, welche vielleicht selbst innerhalb der Versuchsfehler fällt, einem ungleichen Gehalt an Nervensubstanz, oder auch einer Veränderung dieser*) zuzuschreiben, und nichts ferner als die Deutung *Ranke*'s. — Den (von *Meissner* entdeckten) Zuckergehalt findet *Ranke* im Mittel von 0,012 pCt. durch den Tetanus auf 0,017 pCt., also um 0,005 pCt. erhöht. Gegen die Versuche, welche diese geringe Vermehrung einer spurweise vorhandenen Substanz beweisen, vermag ich keinen Einwand zu erheben; jedoch gilt von diesem Resultate in vollem Maasse das S. 83 Gesagte; niemand vermag zu sagen, ob es mit dem Contractionsprocess selbst in directer Beziehung steht.

Dasselbe gilt von einer Angabe von *Sczelkow***), welcher bei Hunden den Gehalt der Muskeln an flüchtigen Fettsäuren durch Tetanus im Mittel von 0,2058 auf 0,1208 pCt. sinken sah. Da hier bluthaltige Muskeln verglichen wurden, ferner der Einfluss der Nervensubstanz nicht berücksichtigt ist, endlich die Bestimmungsmethode ziemlich unvollkommen ist, so kann die Folgerung *Sczelkow*'s, dass bei der Contraction flüchtige Fettsäuren verbrannt werden, nicht gerechtfertigt erscheinen, zumal da bei längere Zeit unthätigen Muskeln keine Vermehrung des Fettsäuregehalts nachgewiesen werden konnte; die Behandlungsmethode würde aber ganz abgesehen von dem Allen, nach S. 84 vielmehr den Schluss rechtfertigen, dass die Contraction (und die Starre) flüchtige Fettsäuren produciren.

---

*) Eine Zunahme des Aetherextracts der Nerven bei der Reizung derselben habe ich bereits im Jahre 1861 gefunden; die weitere Durchführung und Publication dieser Versuche unterblieb jedoch, da die Arbeit von Liebreich über das Protagon gezeigt hat, wie unsicher die quantitative Bestimmung der Aetherextracte in der Nervensubstanz ist.

**) Die flüchtigen Fettsäuren des Muskels und ihre Veränderung während des Muskeltetanus. Archiv von Reichert & du Bois-Reymond 1864. S. 672—677.

Ranke hat endlich direct eine (von *Helmholtz**) nicht mit Sicherheit constatirte) Verminderung der Eiweisskörper beim Tetanus ermittelt. Er bediente sich hierzu zweier Methoden: erstens Extraction mit kaltem Wasser, zweitens Extraction aller übrigen Bestandtheile ausser dem Eiweiss, namentlich des Leims, durch Kochen mit Wasser und dann mit Alkohol. Ob die der ersteren Bestimmung stillschweigend zu Grunde gelegte Annahme, dass bei einem mit Sand und Wasser zerriebenen Muskel nach 5 stündigem Stehen das lösliche Eiweiss in der Flüssigkeit und den Muskelpartikelchen quantitativ gleichmässig vertheilt sei, gerechtfertigt ist, muss höchst zweifelhaft erscheinen; — die zweite aber lässt, selbst wenn die Extraction des leimgebenden Gewebes völlig gelungen sein sollte, noch zahlreiche Substanzen ausser dem Eiweiss zurück, welche das Resultat bedenklich machen. Vor Allem aber muss man sich wundern, dass *Ranke* auf seinen Fund Werth legt, da ja die Verminderung sich in dem nach ihm wasserreicheren Muskel findet. Die Verminderung des Eiweissgehalts findet nämlich *R.* zu 0,26—0,7 pCt.; da nun aber der tetanisirte Muskel nach ihm 1,5 pCt. weniger feste Bestandtheile hat als der ruhende, so müsste ja der Rückstand des tetanisirten Muskels nach *R.* einen höheren Eiweissgehalt haben als der des ruhenden. Da nun *R.* die Verminderung des festen Rückstands durch Verlust an festen Stoffen, nicht durch Wasseraufnahme erklärt (s. oben S. 85), so entsteht das merkwürdige Resultat, dass der Tetanus aus dem Muskel Substanzen von der Zusammensetzung des Eiweisses weggeschafft hat (*Ranke* S. 207) und dennoch der trockne Rückstand reicher an Eiweiss geworden ist!

Nawrocki ist bezüglich der Eiweissstoffe im Muskel später zu einem ähnlichen Resultat nach einer jedenfalls besseren Methode gelangt;**) er extrahirt nämlich sämmtliche Eiweissstoffe mit Natronlösung und fällt das gewonnene Natronalbuminat mit Essigsäure;

---

*) Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaction. Müller's Archiv 1845. S. 72—83.

**) Beiträge zum Stoffwechsel im Muskel. 2. Eiweissstoffe. Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1866. S. 385—387.

Nawrocki selbst legt aber auf die gefundene Verminderung von 0,41 bis 0,72 pCt. sehr richtig wenig Werth, da er die Fehlergrenzen der Methode zu 0,4 pCt. gefunden hat.

Es wird zweckmässig sein, darauf aufmerksam zu machen, dass auch die in dieser Schrift angegebenen Procentzahlen für den Kohlensäuregehalt der Muskeln, welche in Gewichten ausgedrückt sehr klein sind (vgl. S. 64), sicherlich keine Schlüsse gestatten würden, wenn sie wirklich durch Wägung gefunden wären; aber eben die volumenometrische Bestimmung verleiht ihnen eine Zuverlässigkeit, welche die gleich hoher durch Wägung gefundener Procentzahlen weit übertrifft. —

Alle hier erwähnten Angaben über direct am Muskel gefundene chemische Veränderungen durch den Tetanus, so weit sie einen Verbrauch stickstoffhaltiger Substanzen behaupten, werden nun — ausser ihrer Entwerthung durch den S. 84 aufgeworfenen Einwand — wie bereits lange bekannt unverständlich, und nach dem S. 83 ausgesprochenen Grundsatz geradezu als unmöglich das Richtige treffend bezeichnet, durch den Umstand, dass nachdem schon früher vereinzelte Stimmen*) sich in gleichem Sinne geäussert hatten, die sorgfältigen Untersuchungen von *Voit***) keine Vermehrung der Stickstoffausgabe des Gesammtorganismus durch die Muskelarbeit ergeben haben, ein Resultat, das noch ganz neuerdings durch *Pettenkofer & Voit* auch für den Menschen bestätigt worden ist. Vielmehr ergiebt die Vergleichung der Ausgaben des ruhenden und arbeitenden Organismus nur die von *Regnault & Reiset* entdeckte Steigerung der Kohlensäureausscheidung durch die Arbeit.

Voit ist allerdings dennoch bei der Ansicht stehen geblieben,

---

*) Draper, Ueber das Verhältniss der Harnstofferzeugung zur Muskelbewegung. Auszug in Meissner's Jahresbericht pro 1856. S. 295. — L. Lehmann, Welchen Einfluss übt unter verschiedenen Verhältnissen die körperliche Bewegung bis zur ermüdenden Anstrengung gesteigert auf den menschlichen Organismus in Sonderheit auf den Stoffwechsel aus? Archiv f. wissensch. Heilkunde IV. S. 484.

**) Untersuchungen über den Einfluss des Kochsalzes, des Kaffee's und der Muskelbewegung auf den Stoffwechsel. München 1860.

dass die Muskelaction mit einem Verbrauch stickstoffhaltiger Substanz verbunden sei; er musste hierzu die unnatürliche Annahme machen, dass die Grösse der Leistungen und des Stoffverbrauchs im Muskel durch die Arbeit nicht vermehrt werde, sondern dass erstere nur ihre Form wechseln (in der Ruhe Electricitätsentwicklung). Ich brauche nicht alle von Andern schon dieser Ansicht entgegenstehenden Gründe aufzuführen; es genügt der eine, dass sie mit der unzweifelhaften Vermehrung der Kohlensäureausscheidung durch die Arbeit völlig unvereinbar ist. — Eine andere Deutung jenes Resultats zur Vereinigung desselben mit einem Eiweissverbrauch bei der Muskelarbeit, welche von *Voit* discutirt, aber verworfen wird, ist von *Ranke* in seiner Schrift über den Tetanus wieder aufgenommen worden, nämlich die dass der über die Norm erhöhte Eiweissverbrauch während der Arbeit durch einen unter die Norm verminderten während der Ruhe derart ausgeglichen werde, dass grössere Zeiträume, gleichviel ob eine Arbeitszeit in dieselben gefallen ist oder nicht, die gleichen Stoffwechselgrössen liefern; die Verminderung unter die Norm nach der Arbeit soll nach *Ranke* bewirkt werden durch eine Art Hemmungsvorrichtung, nämlich den durch den Tetanus bewirkten grösseren Wassergehalt und die Anhäufung von sog. „ermüdenden" Stoffen im Muskel. In der That aber ist es auch für kleinere Zeiträume nicht gelungen eine verstärkte Stickstoffausscheidung während der Arbeitszeit und eine verminderte nach der Arbeit zu constatiren, während für die Kohlensäure, deren Ausscheidung durch die Arbeit nachgewiesenermassen vermehrt wird, die Ausscheidungsgrössen sich nicht ausgleichen, sondern, mögen die beobachteten Zeiträume noch so gross sein, vergrössert werden, wenn in dieselben eine Arbeitsperiode gefallen ist.*) Die Anschauung von *Ranke* ist daher ebenso unzulässig wie die von *Voit*; Arbeit braucht wirklich mehr Stoff, sie bewirkt nicht eine blosse anderweitige Vertheilung des Stoffverbrauchs.

*) Z. B. sind in der unten näher zu besprechenden neuesten Publication von Pettenkofer und Voit von einem Manne in 24 Stunden 911,5 grm. Kohlensäure ausgeschieden worden, als er am Tage ruhte, dagegen 1284,2, als er am Tage arbeitete.

Bei dieser Lage der Dinge kann es nicht Wunder nehmen, dass sich schon früher einige Forscher von der gleichsam instinctmässig gemachten Annahme, der Muskel verbrenne stickstoffhaltige Substanz, losgesagt und den Satz aufgestellt haben, der Muskel oxydire bei seiner Arbeit nur stickstofffreies Material. Zuerst hat *M. Traube* in seinem bereits (S. 62) erwähnten vortrefflichen Aufsatze diese Behauptung ausgesprochen, indem er auf alle Bedenken hinweist, welche der andern Anschauung entgegenstehen, unter andern namentlich die äusserst geringe Stickstoffaufnahme unserer Arbeitsthiere, welche meist Pflanzenfresser sind, ferner die Beobachtung, dass mit reinem Zucker gefütterte Bienen trotz unaufhörlicher Bewegung gut bestehen können. Auch *Fick* und *Wislicenus**) führen eine ähnliche Erfahrung an, nämlich dass die Gemsjäger der Westschweiz auf mehrtägige anstrengende Excursionen als Proviant nur Speck und Zucker mitzunehmen pflegen. Schon früher hatte *Voit* darauf aufmerksam gemacht, dass die bayerischen Gebirgsbewohner zu demselben Zwecke nur Fett benutzen. Zu diesen schwer wiegenden Thatsachen fügen nun aber *Fick* und *Wislicenus* noch einen höchst interessanten Versuch; sie zeigen nämlich, dass bei einer annähernd messbaren von ihnen ausgeführten Muskelarbeit (Besteigung eines Berges) die Verbrennung einer aus dem dabei ausgeschiedenen Stickstoff berechneten Eiweissmenge auch bei der übertriebensten Annahme der Verbrennungswärme des Eiweisses, nicht im Entferntesten die Entstehung der aufgewandten Muskelkraft zu erklären vermag. Diese Puncte mussten, soviel ich sehe, selbst wenn entgegengesetzte Erfahrungen durch das Studium der Muskelchemie constatirt wären (was aber nicht der Fall ist), *M. Traube* und *Fick & Wislicenus* vollkommen zu der Folgerung berechtigen, dass es sich bei der Muskelarbeit nur um den Verbrauch stickstofffreier Substanzen handelt.

Diese Anschauung wird nun aber durch die in dieser Schrift

---

*) Ueber die Entstehung der Muskelkraft. Vierteljahrsschr. d. Züricher naturforsch. Gesellsch. X. S. 317—348.

mitgetheilten Erörterungen in einem wesentlichen Puncte modificirt oder präcisirt. Es ist nämlich hiernach in der That der Zerfall eines stickstoffhaltigen Körpers das Substrat der Muskelaction, allein von den Zerfallproducten, unter denen Kohlensäure, fixe Säure und ein gallertig auftretender Eiweisskörper (Myosin) angedeutet sind, wird mindestens der letztere, vielleicht auch die fixe Säure zum Wiederaufbau des ursprünglichen Körpers mit verwandt, und nur von der Kohlensäure ist es sicher dass sie den Muskel und den Organismus verlässt. Das Resultat des ganzen Processes ist also wirklich das schon von *Traube* behauptete, dass nämlich nur ein stickstofffreier, kohlenstoffhaltiger Atomcomplex zum eigentlichen Verbrauch kommt. *)

Als ich einem Practiker das von mir gewonnene Resultat mittheilte, rief er aus, jetzt werde ihm plötzlich klar, weshalb in armen Familien die Erwachsenen bei Kartoffelkost so stark arbeiten können, während die Kinder diese Kost sehr schlecht vertragen. In der That, der Erwachsene besitzt in seinen Muskeln einen Schatz jenes oben erörterten Körpers, der bei der Muskelarbeit nur zu einem Theil verbraucht, zu einem andern (stickstoffhaltigen) Theil aber immer wieder verwendet wird um den ursprünglichen Körper zu erneuern. Er braucht also nur den stickstofffreien Antheil, der als Kohlensäure davongeht, durch eine Fett oder Kohlenhydrate enthaltende Nahrung zu ersetzen. Das Kind aber, dessen Muskeln in der Entwicklung begriffen sind, muss jenen Schatz erst anlegen, und dazu bedarf es des Genusses von Eiweisskörpern.

Es liessen sich noch manche Ausführungen in practischer Beziehung an die hier gewonnenen Resultate anknüpfen, die wir aber

---

*) Die auf S. 62 von mir erwähnte Traube'sche Hypothese, dass ein Fermentkörper den Sauerstoff aufnehme und ihn auf stickstofffreie oxydirbare Substanzen übertrage, ist, wie eine genaue Erwägung zeigt, von der hier durchgeführten Auffassung nicht so verschieden als es auf den ersten Blick scheinen könnte.

übergehen, um uns wieder unserem ursprünglichen Gegenstande, dem Gaswechsel des Muskels, zuzuwenden.

6. Die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäure-Ausscheidung des Muskels im Organismus, und des Gesammtorganismus.

Wir haben gesehen, dass die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäurebildung des Muskels zwei von einander völlig unabhängige Acte sind, und so erklärt es sich, das man für den Quotienten $\frac{CO_2}{O}$ unter verschiedenen Bedingungen äusserst verschiedene Werthe gefunden hat. Ganz ausser Betracht zu lassen sind hier die an ausgeschnittenen Muskeln gefundenen Werthe, wie aus dem S. 63 Gesagten hervorgeht.

Es ist von *Ludwig & Sczelkow* mit Sicherheit nachgewiesen, dass der tetanisirte Muskel nicht allein mehr Kohlensäure an das Blut abgiebt, sondern auch mehr Sauerstoff aus demselben aufnimmt, als der ruhende; die letztere Veränderung erreicht jedoch in ihrer Grösse nicht die erstere. (Dasselbe Verhältniss fanden diese Forscher auch bei der Bestimmung des Gesammtgaswechsels des ruhenden und des tetanisirten Thieres ausgeprägt, wovon unten die Rede sein wird.) Sie schliessen daraus, dass in den sich contrahirenden Muskeln andere Zersetzungen stattfinden als in ruhenden." Nach den mitgetheilten Erfahrungen ist diese Annahme nicht mehr zulässig; sondern das Ergebniss der Versuche von *Ludwig & Sczelkow* müssen wir jetzt folgendermassen ausdrücken: Während im ruhenden Muskel mit dem Zerfall des von uns angenommenen Körpers die Synthese desselben durch die Beihülfe des Blutes gleichen Schritt hält, ist dies beim tetanisirten Muskel nicht der Fall. Die von *Sczelkow* beschriebene Veränderung der Muskelathmung ist also ein Phänomen, welches in ganz gleiche Linie zu stellen ist mit der von *du Bois-Reymond* beobachteten Säuerung des tetanisirten Muskels lebender Thiere. Beide Vorgänge sind dadurch bedingt, dass die Restitution durch das Blut (mag diese nun in Betreff der Säure in blosser Neutralisirung oder in Verwendung

derselben bei der Synthese bestehen) dem durch den Tetanus stark beschleunigten Zerfall nicht zu folgen vermag, obgleich, wie *Ludwig & Sczelkow* entdeckt haben, während des Tetanus eine beschleunigte Circulation im Muskel stattfindet, welche offenbar den Restitutionsprocess begünstigt.

Ein ganz ähnliches Verhältniss tritt ein, wenn an die Stelle der Contractionsreize Umstände treten, welche eine schnelle Erstarrung des Muskels herbeiführen, also Temperaturen von 40^0 für den Frosch, von 50^0 für den Warmblüter. Im unversehrten Organismus wirkt die Circulation durch den Restitutionsprocess grade ebenso dem Erstarren entgegen, wie vorher der Erschöpfung durch den Tetanus. Man kann dies bereits aus dem S. 72 angeführten Versuch am Kaninchen ersehen, wo anhaltendes Erwärmen auf 50^0 keine Starre bewirken konnte; noch prägnanter kann man es am Frosche demonstriren: Man unterbinde einem Frosche die eine Art. iliaca und hänge ihn, durch ein an die Füsse gebundenes Gewicht beschwert, bis zur Hüfte in 40^0 warm erhaltenes Wasser. Sehr bald wird der Schenkel mit der unterbundenen Arterie unerregbar und endlich starr, der andre ist zu dieser Zeit noch sehr gut beweglich und wird weiterhin zwar gelähmt, aber noch nicht starr*). Herausgenommen erholt sich der letztere bald, der andre nicht. Aber ebensowenig wie bei anhaltendem Tetanus, ist auch hier der Restitutionsprocess nicht im Stande dem schnellen Zerfall nachzufolgen. Daher sehen wir Lähmung und saure Reaction auch in den vom Blut durchströmten (nur „halbstarren") Muskeln vorübergehend eintreten.

Im ruhenden Muskel, müssen wir annehmen, geht auch im lebenden Thiere ein beständiger Zerfall jener im Muskel befindlichen Substanz vor sich, ganz wie im unausgeschnittenen Froschmuskel, mit Bildung von Kohlensäure, fixer Säure und gallertigem Myosin, vielleicht noch anderer Producte. Dieser Zerfall muss im warmblütigen Thiere, selbst vorausgesetzt dass ihre Muskeln denselben Kör-

*) Dieser Versuch ist so leicht ausführbar und demonstrativ, dass er sich zur Anstellung in Vorlesungen eignet.

per enthalten wie die Froschmuskeln, — wegen der hohen Temperatur sehr schnell verlaufen; so dass also ein von der Blutcirculation ausgeschlossener warmblütiger Muskel, bei gleichem Vorrath an jener Muskelsubstanz, viel schneller erstarren muss, als ein Froschmuskel. (In Wahrheit aber ist diese Substanz vom Warmblüter höchst wahrscheinlich auch bei gleich niedriger Temperatur zersetzlicher als die des Kaltblüters, vgl. S. 80.) Neben diesem beständigen Zerfall erfolgt aber, gleichen Schritt haltend, eine beständige Synthese, zu welcher das Blut sicher liefert: Sauerstoff, und eine noch nicht ermittelte kohlenstoffhaltige, stickstofffreie Substanz. Dass auch diese Synthese mit einem Freiwerden von Kräften verbunden ist, ist ein theoretisches Postulat, da jedenfalls stärkere Affinitäten durch sie gesättigt werden als vorher gesättigt waren (ohne diese Annahme wäre ihr Zustandekommen unerklärlich). Ueber die Quantität dieser freiwerdenden Kräfte lässt sich nur die Vermuthung aussprechen dass sie sehr gering ist, da unter anderm der Sauerstoff, um in die im Muskel zu bildende Verbindung einzutreten, sich (mittelbar oder unmittelbar, vgl. S. 59) aus seiner Verbindung mit dem Hämoglobin befreien muss. Auch über die Form in welcher die freiwerdenden Kräfte auftreten wissen wir nichts; jedenfalls ist es keine der Leistungen, welche wir am ausgeschnittenen Froschmuskel kennen, denn in diesem fehlt ja grade ganz oder doch fast ganz jener synthetische Process. Es wird nicht überflüssig sein, darauf hinzuweisen dass wir den Sitz der Wärmebildung im Organismus noch nicht genau kennen; möglicherweise ist dieser continuirliche, in den Muskeln der Warmblüter sehr lebhafte Vorgang, also die Synthese der Muskelsubstanz, das Substrat eines Theils der Wärmebildung im Organismus.

Man sieht, dass bei dieser Betrachtungsweise es erklärlich wird, dass der ruhende Muskel in jedem Augenblick nur einen sehr geringen Vorrath jener in beständiger Regeneration begriffenen Substanz zu enthalten braucht. Allerdings wird er, je mehr er von ihr enthält, um so geeigneter sein zu anstrengenden und anhaltenden Contractionen, bei welchen, wie die Untersuchungen von *Ludwig & Sczelkow* zeigen, die synthetische Regeneration mit dem Zerfall nicht

gleichen Schritt halten kann. Die Contraction ist also eine Zeit der Gefahr für den an jener Substanz armen Muskel. Ueber die wirkliche Menge jener Substanz im Muskel lässt sich schwer eine Vermuthung aussprechen. Wir könnten dieselbe nach unseren Vorstellungen nur schätzen an ausgeschnittenen Muskeln, bei denen nur Zerfall, nicht Synthese stattfindet, und zwar aus der Menge der bis zur vollkommnen Starre gelieferten Zerfallproducte. Den Myosingehalt starrer Muskeln zu bestimmen, ist mir trotz mehrmonatlicher Arbeit nicht gelungen; denn beim Extrahiren der mit Glaspulver zerriebenen Muskeln durch 10procentige Kochsalzlösung (und Fällung derselben durch Kochsalzzusatz) gelingt es nie, sie zu erschöpfen, obgleich die Ausbeuten immer nur sehr gering sind, und eine eigenthümliche Fäulniss mit käseartigem Geruch zwingt die Arbeit abzubrechen. Den vollen Säuregehalt ausgeschnittener Froschmuskeln (als gleiches Aequivalent Schwefelsäure berechnet) hat *Ranke* zu 0,141 pCt. im Mittel gefunden; allein es ist wahrscheinlich (vgl. S. 80), dass ein Theil der Säure, welcher durch Alkali des Muskelgewebes gesättigt wird, der acidimetrischen Bestimmung entgeht. Auffallend klein ist die von mir gefundene in Gewichten ausgedrückte volle Kohlensäureproduction der Froschmuskeln, nämlich 0,018—0,024 pCt. (Die *Ranke*'schen Kohlensäurezahlen, und ebenso die von mir im 2. Abschnitt gefundenen sind aus dem oben S. 63 angeführten Grunde unbrauchbar.)

Da die Muskeln von allen Körperorganen, und namentlich von allen respirirenden Organen die Hauptmasse bilden, so müssen die eben erörterten Umstände, d. h. das Verhältniss des Zerfallprocesses zu dem Restitutionsprocess, von sehr grossem Einfluss sein auf die Gaswechselgrössen des Gesammtorganismus, und namentlich das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffs zur ausgeschiedenen Kohlensäure. Es ergiebt sich unmittelbar aus den hier mitgetheilten Betrachtungen, dass wenn nicht besondere compensatorische Einrichtungen im Organismus existiren, zur Zeit der Muskelarbeit, wo die Restitution dem Zerfall nicht folgen kann, mehr Kohlensäure ausgeschieden werden muss als dem gleichzeitig aufgenommenen Sauerstoff

entspricht, d. h. das von *Ludwig & Sczelkow* zuerst experimentell gefundene Resultat. In der Ruhe, wo Zerfall und Synthese gleichen Schritt halten, wird ein gewisses Normalverhältniss des Gaswechsels sich herstellen, welches experimentell sich nahezu als das gleicher Volumina ergeben hat (d. h. mit andern Worten, die ausgeschiedene Kohlensäure enthält beinahe soviel Sauerstoff als gleichzeitig aufgenommen wird). Ist aber der Ruhe Arbeit vorhergegangen, so wird zu diesem Gaswechsel noch eine nachträgliche Sauerstoffaufnahme hinzukommen, welche zur nachträglichen Restitution verbraucht wird. Während der Ruhe nach Arbeit muss also die Sauerstoffaufnahme grösser sein als die Kohlensäureausgabe.

Diese Betrachtungen, welche aus der aufgestellten Theorie sich ohne Weiteres ergeben, finden nun auch eine practische Bestätigung in einer kürzlich mir zur Kenntniss gekommenen Arbeit von *Pettenkofer* und *Voit**). Diese fanden nämlich mit ihrem bekannten Respirationsapparat: 1. dass ein Mensch in einem Arbeitstage mehr Kohlensäure ausgiebt, als in einem Ruhetage, während die Sauerstoffaufnahme durch die Arbeit kaum erhöht wird; 2. dass in der Nacht viel mehr Sauerstoff aufgenommen wird als am Tage (gleichgültig ob Ruhe- oder Arbeitstag), dagegen viel weniger Kohlensäure ausgeschieden wird als selbst an einem Ruhetage; 3. dass zwischen beiden Vorgängen in Tag und Nacht eine fast vollkommene Ausgleichung stattfindet, so dass die 24 stündige totale Sauerstoffaufnahme der gleichzeitigen totalen Kohlensäureausgabe dem Volum nach ungefähr gleichkommt.

Das Resultat ad 1 ist eine Bestätigung des entsprechenden von *Ludwig & Sczelkow*. Das ad 2 genannte Resultat sind *P. & V.* geneigt, auf eine besondere, im Schlafe wirkende Einrichtung zu deuten, welche gleichsam Sauerstoff vorräthig im Körper aufspeichert.

Man kann sich dieses letztere Resultat, wenn man die hier gewonnene Anschauung zu Grunde legt, auf drei verschiedene Arten

---

*) Ueber Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffaufnahme während des Wachens und Schlafens beim Menschen. Vorgetragen in der Sitzung der math.-phys. Klasse der k. bayer. Acad. d. Wissensch. zu München am 10. Nov. 1866 von Dr. M. v. Pettenkofer. Sep.-Abdr. 30 Seiten.

erklären, und es ist Grund genug zu der Vermuthung, dass wirklich alle drei hier zu erörternden Vorgänge existiren und zu jenem Ergebniss beitragen.

1. Die bereits oben erwähnte „nachträgliche Restitution," die der Arbeit folgen muss, in welcher der Restitutionsprocess mit dem Zerfallprocess nicht gleichen Schritt halten konnte. Indess wird dieser Vorgang allein den von *P. & V.* gefundenen Unterschied in dem Tag- und Nacht-Gaswechsel schwerlich vollständig erklären. Der Grund, welchen die Entdecker selbst gegen die Identificirung von Schlaf und Muskelruhe anführen, nämlich der Umstand dass der Ruhetag vom Arbeitstag sich bei weitem nicht in dem Maasse im vorliegenden Sinne unterscheide, als die Nacht von beiden, ist allerdings nicht ganz beweiskräftig; denn jeder wird anerkennen, dass das Individuum am Ruhetage, ganz abgesehen von der factisch vorhanden gewesenen Beschäftigung (mit Uhrmacherarbeit) auch nicht entfernt den Grad von Muskelruhe dargeboten habe, als während des Schlafs. Aber die Natur des von uns angegebenen Vorgangs muss es wahrscheinlich machen, dass derselbe unmittelbar nach der Arbeit ziemlich rasch abläuft; und wenn wir auch aus den vorliegenden Versuchen nicht ersehen können, wie sich der Sauerstoffüberschuss auf die 12 Nachtstunden vertheilt habe, ob er nicht ausschliesslich dem Anfang derselben zukomme, so ist doch selbst das letztere nicht einmal wahrscheinlich, da man sich der Vorstellung nicht verschliessen kann, dass zu der „nachträglichen Restitution" am Tage selbst, in den Pausen zwischen den Muskelanstrengungen genügend Zeit ist; wenigstens deuten die alltäglichen Erfahrungen über die Schnelligkeit der Erholung ermüdeter Muskeln darauf hin, dass dieser Process ziemlich schnell verläuft.

2. Die Annahme ganz ähnlicher Verhältnisse, wie sie für den Muskel existiren, für die nervösen Apparate. Während zwischen der Thätigkeit der Muskeln im ruhigen Wachen und im Schlafe kein so sehr erheblicher Unterschied ist, vor allen Dingen aber zwischen den Muskelanstrengungen wirkliche Pausen existiren, in welchen die nachträgliche Restitution zum Theil oder ganz stattfinden kann, sind die

Verhältnisse für das Gehirn wesentlich anders. Hier ist in der That im Wachen ununterbrochene Thätigkeit, im Schlafe Ruhe. Wenn daher hier ähnliche Stoffwechselverhältnisse existirten wie beim Muskel, nämlich Zerfall einer Substanz unter Kohlensäurebildung bei der Thätigkeit, Restitution derselben unter Sauerstoffverzehrung namentlich in der Ruhe, so wäre die Deutung des von *P. & V.* gefundenen Verhältnisses leicht; allerdings müsste, wenn ein solcher Vorgang Alles erklären sollte, der Stoffwechsel der Nervensubstanz sehr beträchtlich sein.

3. Es muss für die Muskeln ausser der nachträglichen Restitution noch einen Vorgang geben, welcher ebenfalls mit einer „überschüssigen Sauerstoffverzehrung" verbunden ist. Bisher haben wir nämlich nur die restitutive Synthese der wirksamen Substanz des Muskels im Auge gehabt. Es muss aber ausserdem eine neoplastische Synthese dieser Substanz geben. Denn erstens wissen wir, dass der Muskel mit der Entwicklung wächst und ausserdem durch Uebung und nach Krankheiten zunimmt, zweitens müssen wir vermuthen, dass ausser dem mit der Arbeit verbundenen Zerfallprocess noch eine Art Abnutzung existirt (schon S. 83 berührt), welche nothwendig einen Ersatz erheischt; diese Abnutzung scheint nicht nur bei allen Theilen des Organismus zu existiren, sondern ist speciell für den Muskel durch das unter Umständen unzweifelhaft in ihm vorkommende Kreatin und ähnliche Stoffe, welche wie oben erörtert unmöglich zum Contractionsprocess in directer Beziehung stehen können, deutlich ausgesprochen. — Die „neoplastische" Synthese nun, welche Zunahme des Muskels oder Ersatz des durch Abnutzung Verlorenen bewirkt, wird vermuthlich ein der „restitutiven" chemisch ganz ähnlicher Process sein, bei dem Sauerstoff, eine stickstofffreie organische Substanz, und ein Eiweisskörper zur Verwendung kommt, nur dass letzterer nicht das dem Muskel bereits angehörige vom functionellen Zerfall herstammende Myosin ist, sondern dem Blute, und in letzter Instanz der Nahrung entnommen wird. Es spricht nun in der That manches dafür, dass jener Abnutzungsprocess, welcher höchstwahrscheinlich zu einer vermehrten Kohlensäure- und Harnstoffausscheidung

führt, hauptsächlich zur Zeit der Thätigkeit, wiewohl nicht unmittelbar mit dieser verbunden, verläuft, der neoplastische Process, welcher ihn compensirt, dagegen hauptsächlich während der Ruhe. Eine solche Existenz zweier neben einander verlaufender, aber doch nicht unmittelbar mit einander verbundener Processe im Muskel, nämlich

functioneller Zerfall (Bildung von Kohlensäure, Milchsäure, Myosin etc.)	restitutive Synthese (Verwendung von Sauerstoff, Myosin etc.)
Abnutzungs-Zerfall (Bildung von Kohlensäure, Kreatin [Harnstoff] etc.)	neoplastische Synthese (Verwendung von Sauerstoff, Eiweiss etc.)

von welchen beide Zerfallarten hauptsächlich während der Arbeit und beide Restitutionsarten hauptsächlich während der Ruhe verlaufen, war vermuthlich die Schwierigkeit, welche die physiologische Chemie des Muskels lange im Dunkel erhalten hat; so wird es erklärlich, dass so Viele in den thätigen Muskeln eine Vermehrung des Kreatins, in dem thätigen Gesammtorganismus eine Vermehrung der Harnstoffausscheidung gefunden haben, während Andre sich hiervon nicht überzeugen konnten. Erst durch die vortrefflichen Untersuchungen des Gesammtstoffwechsels wie sie in München von *Bischoff*, *Voit* und *Pettenkofer* angestellt sind, ist Licht in dies Dunkel gekommen, und ich hoffe dass die hier gegebenen Erörterungen das Verständniss der durch jene Forscher gefundenen Thatsachen befördern werden.

Schliesslich noch ein Wort über die Art, wie jene beiden Processe vermuthlich mit einander verbunden sind. In den meisten Versuchen, bei welchen keine Vermehrung der Harnstoffausscheidung durch Muskelarbeit gefunden wurde, waren die Versuchsbedingungen wie es scheint der Art dass nur ein mässiger Grad von Anstrengung Statt fand. An arbeitenden Menschen, sowie am Hunde im Tretrade, welche die Anstrengung durch Erholungspausen unterbrechen, ist eine solche Vermehrung nicht constatirt worden. Sollte nicht sehr viel auf den Grad der Muskelanstrengung ankommen und sollte nicht derselbe Einfluss es erklären, warum einige Forscher in gereizten Muskeln eine Kreatinvermehrung gefunden haben, andre nicht? Denkt man sich nämlich einen so hohen Grad der Muskelan-

strengung, dass einzelne Fasern zur Erschöpfung und wirklichen Starre, d. h. zur Contraction des Myosingerinnsels gelangen, so ist wie wir besprochen haben, die Restitution dieser Fasern durch das Blut unmöglich; es liegt nun nahe anzunehmen, dass jetzt dies Myosin, welches nicht mehr zur Synthese der Muskelsubstanz verwendbar ist, weiter zerfällt, unter Bildung von Kreatin, Kohlensäure, vielleicht auch Fett (fettige Degeneration); einzelne fetterfüllte Fasern findet man fast in jedem Muskel. Zwischen Arbeit und Arbeit ist ein grosser Unterschied; man denke nur an die Anstrengung eines unter der Peitsche fast zusammenbrechenden Droschkenpferdes und die eines Spaziergängers; es ist gar nicht unwahrscheinlich, dass ersteres täglich Muskelfasern einbüsst, und daher durch Arbeit Harnstoff ausscheidet, während dies bei mässiger Arbeit nicht der Fall ist. Und ähnlich kann beim physiologischen Versuch der Grad der Reizung einmal Vernichtung und Kreatinbildung, das andremal nichts dergleichen bewirken. Diese Vorstellung, welche sich mit Leichtigkeit noch weiter practisch ausdehnen liesse, hat den Vortheil, widersprechende Angaben zu erklären, ohne die eine Partei des Irrthums zu zeihen.

Anhang zum vierten Abschnitt.

1. Die verschiedenen Arten der Muskelstarre.

Kühne hat nachgewiesen, dass die bei 40° augenblicklich eintretende Erstarrung der Froschmuskeln völlig identisch ist mit der auch bei niederen Temperaturen, freilich langsamer sich entwickelnden, sog. spontanen Starre („Zeitstarre" *Ranke*). Bei 45° dagegen wird nach *Kühne* ein zweiter Eiweisskörper ausgeschieden, welcher bei niederen Temperaturen auch nach noch so langer Zeit nicht zur

Ausscheidung kommt. Bei weiterem Erwärmen treten nun, wie sich am Muskelplasma oder auch am Muskelserum nachweisen lässt, immer neue Coagulationen ein, bis bei 60—70° auch der letzte, dem gewöhnlichen Serumalbumin entsprechende Eiweisskörper ausgeschieden ist.

Ausserdem lassen sich im Muskel Gerinnungen hervorbringen durch Säuren, durch Alkohol, durch destillirtes Wasser u. s. w. Es entsteht die Frage, welche von diesen Gerinnungen etwa mit der spontanen Starre hinsichtlich des chemischen Vorganges in eine Categorie zu stellen sind.

1. Die durch plötzliches Erhitzen des Muskels auf 60—70° eintretende, mit starker Verkürzung, Weisswerden und Brüchigkeit des Muskels verbundene Gerinnung ist ein Vorgang, welcher mit der eigentlichen Starre nichts gemein hat. Schon *du Bois-Reymond* hat gefunden, dass eine Säureentwicklung hierbei nicht stattfindet, und meine im ersten Abschnitt mitgetheilten Versuche haben desgleichen ergeben, dass diese Behandlung des Muskels nicht mit Kohlensäureentwicklung verbunden ist; auch für später verhindert diese Einwirkung eine spontane Milchsäure- und Kohlensäureentwicklung im Muskel. Hieraus geht demnach hervor: 1) dass die eigenthümliche leicht zersetzliche Substanz, deren Zersetzung bei der Contraction, bei der spontanen und bei der Wärmestarre des Muskels vor sich geht, bei plötzlicher starker Erhitzung des Muskels nicht in der Weise zerfällt, wie bei der eigentlichen Starre, 2) dass dabei diese Substanz durch jene Einwirkung in so hohem Grade verändert wird, dass ihre normale Zersetzbarkeit auch für später verloren geht.

2. Die Einwirkung von Säuren bewirkt zunächst einen Zustand des Muskels, welcher dem eben geschilderten des gebrühten Muskels äusserlich ähnlich ist; später wird der Muskel wieder durchsichtig und gallertartig, indem er in Säurealbuminat umgewandelt wird. Auch die Säurewirkung lässt anscheinend jene characteristische Muskelsubstanz unzersetzt und verhindert deren normale Spontanzersetzung, da, wie wir im ersten Abschnitt gesehen haben, abgesehen von der zunächst erfolgenden Austreibung der fest gebundenen Koh-

lensäure, keine weitere Kohlensäurebildung stattfindet. Jedoch ist daran zu erinnern, dass möglicherweise ein erstes, bei den stärkeren Säuren verschwindend kurzes Stadium existirt, in welchem die Säure eine der normalen gleichende Zersetzung der Muskelsubstanz bewirkt, also ähnlich wirkt wie eine Temperatur von 40° oder wie ein chemischer Muskelreiz; hierauf deutet nämlich die Seite 55 angeführte Erfahrung dass bei Einwirkung von Kohlensäure auf den Muskel derselbe zwar die Erscheinungen der Säurestarre darbietet, aber nicht bloss von Kohlensäure, sondern von einer fixen Säure (Milchsäure) sauer reagirt; man sieht also dass die Kohlensäure eine der spontanen entsprechende Muskelzersetzung herbeiführt; bei den stärkeren Säuren ist dies, wenn überhaupt, jedenfalls nur in geringem und nicht nachweisbarem Maasse der Fall; eine Milchsäurebildung ist hier begreiflicherweise nicht zu constatiren, die vorhandene geringe Kohlensäureentwicklung aber kann nicht den bezeichneten Ursprung haben, da sie auch am bereits vollkommen erstarrten oder gebrühten Muskel noch auf Säurezusatz eintritt.

3. Die Wasserstarre dagegen scheint ein der spontanen Starre völlig gleichender Act zu sein, da sie wie diese saure Reaction des Muskels herbeiführt (über Kohlensäurebildung bei diesem Process habe ich keine weiteren Erfahrungen, als das allerdings dafür sprechende Resultat der Versuche 25 und 26 (vgl. S. 38); das destillirte Wasser hat also eine ähnlich den Erstarrungsprocess beschleunigende Wirkung wie die Wärme von 40°. Bei der Einwirkung des destillirten Wassers sieht man übrigens häufig, wie auch bei der der Wärme, die Starre sich unter Zuckungen entwickeln, so dass also diese Einwirkungen zugleich diejenigen noch unbekannten Bedingungen hervorzurufen vermögen die den Muskel (vor der vollendeten Starre) zur vorübergehenden Verkürzung bringen; sie sind deshalb gleichzeitig zu den Muskelreizen zu zählen.

2. Zur Lehre von den Blutgasen.

Das Studium des Gaswechsels im Muskel musste mir natürlich die Frage nahelegen, in welcher Weise der Muskel dem Blute

Sauerstoff und das Blut dem Muskel Kohlensäure entzieht, Fragen die zu der Art der Bindung dieser Gase im Blute in engster Beziehung stehen.

In Bezug auf den Uebergang des Sauerstoffs aus dem Blute in den Muskel sind die vorhandenen Möglichkeiten bereits S. 57 ff. erörtert; es ergab sich als natürlichste Folgerung der Studien am ausgeschnittenen Muskel, dass nur das Sauerstoff-Hämoglobin im Stande sei den Muskel im physiologischen Sinne zu oxydiren, d. h. jenen eigenthümlichen synthetischen Process zu bewirken, welcher zur Restitution des Muskels nöthig ist; wir waren aber trotzdem von dieser Vorstellung vorläufig abgegangen, in der Erwägung dass das Sauerstoff-Hämoglobin der Blutkörperchen nicht mit dem Muskelinhalt in directen Verkehr treten kann, da es durch Serum, Sarcolemm u. s. w. von diesem getrennt ist.

Nachträglich finde ich bei nochmaligem Lesen eines Aufsatzes von *Preyer* die Bemerkung, dass „auch das reinste Serum in mässig dicker Schicht noch unverkennbar die Absorptionsstreifen des Oxyhämoglobins zeigt.“*) Vorausgesetzt dass dieser Hämoglobingehalt nicht doch von postmortal zerstörten Blutkörperchen herrührt, — eine bekanntlich sehr schwer experimentell zu erledigende Frage, über welche wir wenn ich nicht irre nächstens von *Preyer* selbst Aufschlüsse zu erwarten haben, — wäre in Verbindung mit dem von *Kühne* gefundenen Hämoglobingehalt der Muskelsubstanz, auf viel ungezwungenerem Wege eine Deutung unsrer Befunde möglich als sie im Text gegeben ist; wir könnten nämlich dann in der That annehmen, dass die Muskelsubstanz im Leben ihren Sauerstoff dem Sauerstoff-Hämoglobin direct entnimmt, und dass diese physiologische Oxydation wesentlich andrer Natur sei als die des ausgeschnittenen Muskels (vgl. S. 60. Anm.). —

In Bezug auf die Kohlensäureabfuhr wäre offenbar die Annahme die einfachste dass die im Muskel frei (auspumpbar) auftre-

---

*) Ueber die Kohlensäure und den Sauerstoff im Blute. Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1866. S. 321—325.

tende Kohlensäure durch Diffusion in das Wasser des Blutes überginge. Jedoch hat *Preyer* in dem soeben citirten Aufsatz das Vorhandensein absorbirter Kohlensäure im Blute wegen der alkalischen Reaction desselben für unmöglich erklärt. *Preyer* nimmt daher nur das sog. *Fernet*'sche Salz und ferner fest gebundene Kohlensäure im Blute an.

Hiergegen ist nun aber zu bemerken, dass dasselbe Bedenken wie der Annahme freier Kohlensäure im Blute, auch der Annahme entgegenstehen würde, dass es die *Fernet*'sche Verbindung enthalte.

Eine Lösung des sog. *Fernet*'schen Salzes erhält man bekanntlich, wenn man in eine Lösung von neutralem phosphorsaurem Natron Kohlensäure bis zur Sättigung einleitet; man hat dann eine Lösung der *Fernet*'schen Verbindung, und im Wasser ausserdem ein Quantum absorbirter Kohlensäure.

Man kann sich nun das *Fernet*'sche Salz so entstehend vorstellen dass 2 Molecüle neutrales phosphorsaures Natron mit einem Molecül Kohlensäurehydrat sich so zersetzen dass 2 Molecüle saures phosphorsaures Natron und 1 Molecül neutrales kohlensaures Natron entstehen:

$$2\ \left.\begin{matrix}P\Theta\\ Na_2H\end{matrix}\right\}\Theta_3 + \left.\begin{matrix}C\Theta\\ H_2\end{matrix}\right\}\Theta_2 = 2\ \left.\begin{matrix}P\Theta\\ NaH_2\end{matrix}\right\}\Theta_3 + \left.\begin{matrix}C\Theta\\ Na_2\end{matrix}\right\}\Theta_2.$$

Man hätte dann also die Lösung des *Fernet*'schen Salzes als eine Mischung von saurem phosphorsaurem und neutralem kohlensaurem Natron zu betrachten, in welcher das erstere Salz das letztere unter gewissen gleich zu betrachtenden Umständen unter Kohlensäureentwicklung zu zersetzen im Stande ist. Dass diese Vorstellungsweise in der That die richtige ist, lehrt ein von mir angestellter Versuch: man erhält nämlich in der That durch Mischen von 2 Aequivalenten sauren phosphorsauren Natrons mit 1 Aeq. neutralen kohlensauren Natrons*) eine Lösung, welche genau die Eigenschaften der auf ge-

*) Am bequemsten verfährt man folgendermassen: Ein Volum verdünnter Phosphorsäure wird mit einer Lösung von kohlensaurem Natron, die aus einer Burette zufliesst, unter Kochen genau neutralisirt und hierauf noch 1 Volum der angewandten Phosphorsäure zugemischt. Diese Mischung wird nach dem Erkalten mit ebensoviel kohlensaurem Natron versetzt als vorher zum Neutralisiren verbraucht war.

wöhnlichem Wege erhaltenen Lösung hat. Beide Lösungen reagiren sauer, das geröthete Lacmuspapier wird beim Trocknen an der Luft wieder blau; beide Lösungen geben an der Luft langsam Kohlensäure ab, schneller beim Durchleiten von Luft oder beim Erwärmen; beim Kochen und im Vacuum bei Gegenwart von Kalilauge entweicht sämmtliche Kohlensäure; solange noch Kohlensäure abgegeben wird, reagirt die Flüssigkeit in oben bezeichneter Weise sauer. An ein abgeschlossenes Luftquantum geben beide Flüssigkeiten nur ein gewisses Quantum Kohlensäure ab, das von der Grösse des Luftvolums abhängt.

Dies beweist also, dass das neutrale kohlensaure Salz durch das daneben vorhandene saure Salz dann zersetzt wird, wenn die damit in Berührung befindliche Gasschicht (bei gleichbleibendem Druck) einen bestimmten Procentgehalt an Kohlensäure noch nicht erreicht hat; die Mischung beider Salze, oder die *Fernet*'sche Verbindung kann mit andern Worten nur unter einem gewissen Kohlensäurepartiardruck bestehen. Dieser Partiardruck kann aber auf das gelöste Salz offenbar nur wirken durch die in der lösenden Flüssigkeit absorbirte Kohlensäuremenge, welche mit dem Partiardruck in der Atmosphäre steigt und fällt; mit andern Worten also: die *Fernet*'sche Verbindung oder vielmehr Mischung wird zersetzt, sobald der Gehalt des Wassers an absorbirter Kohlensäure unter einen gewissen Werth sinkt*) (was beim Stehen an der freien Luft beständig der Fall ist). Man sieht also, das Bestehen der *Fernet*'schen Verbindung ist von dem Vorhandensein absorbirter Kohlensäure abhängig, und wenn man mit *Preyer* die letztere für das Blut in Abrede stellt,

*) Allgemeiner lässt sich, mit Berücksichtigung der hier mitgetheilten modificirten Darstellung der Fernet'schen Lösung, der Sachverhalt folgendermassen darstellen: neutrales phosphorsaures Natron kann in wässrigen Lösungen nur dann bestehen, wenn das Wasser nicht über ein gewisses Quantum Kohlensäure absorbirt enthält: darüber hinaus verwandelt es sich in saures Salz indem neutrales kohlensaures Salz entsteht; umgekehrt kann diese letztere Mischung nur dann bestehen, wenn der Kohlensäuregehalt der Flüssigkeit nicht unter jene Grenze sinkt: darunter bildet sich neutrales phosphorsaures Salz. Bekanntlich verhält sich das phosphorsaure Natron ähnlich auch gegen andere schwache Säuren, z. B. Harnsäure.

kann man auch die Gegenwart der *Fernet*'sche Verbindung im Blute nicht annehmen.

Es bleiben also folgende zwei Möglichkeiten: Entweder es ist in der That nur fest gebundene Kohlensäure im Blute vorhanden, eine Annahme, welcher alle auch bei 0^0 vorgenommenen Entgasungsversuche entschieden widersprechen, — oder das Blut enthält auch, wie man stets angenommen hat, locker gebundene (*Fernet*'sches Salz) und gleichzeitig bloss absorbirte Kohlensäure. Den beiden letzteren Annahmen widerspricht allerdings das *Preyer*'sche Argument der alkalischen Reaction; hier bleibt kein Ausweg als entweder diesem Argument die Beweiskraft abzusprechen, — oder die Frage aufzuwerfen, ob wirklich das circulirende Venenblut, namentlich das Muskelvenenblut, alkalisch reagirt, eine Frage die an Kühnheit verliert wenn man bedenkt, dass das bisher einzige Mittel die Reaction des Blutes mit Sicherheit zu prüfen, nämlich die Herstellung eines Diffusats*) längere Zeit erfordert, in welcher das Blut, namentlich dessen Kohlensäuregehalt sich wesentlich verändern kann. Diese Fragen müssen also weiteren Untersuchungen offengelassen werden.

---

*) Vgl. Kühne, ein einfaches Verfahren die Reaction hämoglobinhaltiger Flüssigkeiten zu prüfen. Virchow's Archiv XXXIII. S. 94—96.

Numerische Versuchsergebnisse

zum ersten und zweiten Abschnitt.

Vorbemerkungen

Von den äusserst zahlreichen dieser Schrift zu Grunde liegenden Versuchen wird hier nur eine verhältnissmässig kleine Anzahl mitgetheilt. Erstens bleiben fort alle diejenigen Versuche, deren Resultate durch blosse Beobachtung ohne Messungen gewonnen wurden; so diejenigen, welche zu den Seite 7 ff. angeführten Beobachtungen geführt haben; es sind dies bei weitem die meisten der überhaupt angestellten. Zweitens bleiben alle Versuche fort, die durch irgend einen Unfall beim Versuch selbst oder bei der Gasanalyse nicht vollständig durchgeführt werden konnten; die Zahl derselben war begreiflicherweise bei der Complicirtheit und langen Dauer jedes Versuchs nicht gering. Es sind also nur solche Versuche mitgetheilt, deren numerische Data direct zu den im Texte aufgeführten Schlüssen geführt haben. Die Reihenfolge der Versuchsmittheilungen habe ich nicht nach der Zeit ihrer Anstellung, sondern nach dem Gange des Textes, dem sie als Beläge dienen sollen, gewählt.

In Betreff der Gasanalysen bemerke ich, dass dieselben streng nach den *Bunsen*'schen Vorschriften ausgeführt sind, und wie ich glaube auf die volle überhaupt mögliche Genauigkeit Anspruch machen dürfen. Zwar ist das Fenster, an welchem die Ablesungen geschahen, nicht nach Norden, sondern nach Osten gerichtet; die Temperatur war aber im Laufe der Arbeitsstunden ziemlich constant,

und viele Ablesungen sind durch mehrmalige Wiederholung in grossen Zeitabständen auf ihre Genauigkeit geprüft worden.

Im Einzelnen ist zu erwähnen, dass die Sauerstoffbestimmungen durchweg eudiometrisch, meist unter Zuhülfenahme von electrolytischem Knallgas geschahen; nur selten wurde um die Verbrennung einzuleiten statt des Knallgases Luft zugesetzt (ihre Zusammensetzung wurde nach *Bunsen* angenommen zu 79,04 pCt. Stickstoff und 20,96 pCt. Sauerstoff). Sehr kleine Gasvolumina wurden nach der Messung sogleich mit Wasserstoffgas oder Luft behufs der Analyse verdünnt; die allerkleinsten behufs der Messung gleich aus der Pumpe zu einem vorher gemessenen Wasserstoffvolumen zugelassen. War das aus der Pumpe erhaltene Gas mit über dem Quecksilber stehender condensirter Flüssigkeit vermischt, so wurde, nach der Messung, durch wiederholtes Umfüllen in andere Absorptionsröhren schliesslich eine zur genauen Kohlensäurebestimmung geeignete mit Wasserdampf gesättigte Gasportion erhalten (vgl. S. 32).

Caliber der angewandten Absorptionsröhren.

No.	1 corrigirtes Volum =
1	0,96748 Ccm.
2	0,25075 „
3	0,25093 „
5	0,364118 „
7	0,30739 „
9	0,31636 „
10	0,27783 „
12	0,28328 „

Bei No. 4 sind die corrigirten Volumina Cubiccentimeter.

Das spec. Gew. der Froschmuskeln ist zu 1,058 angenommen.

1. Reihe. Entgasungsversuche.

Versuch 1. (Vgl. S. 6 ff.) Aus 48,5 grm. (= 45,84 Ccm.) entbluteter Muskeln wird Muskelschnee bereitet und in mit Luft gesättigte 0^0 kalte $^1/_2$procentige Kochsalzlösung gebracht. Entgasung bei 12—15^0. [Gasgehalt der im Apparat enthaltenen 150,86 Ccm. Kochsalzlösung: Sauerstoff 1,523 Ccm., Stickstoff 2,413 Ccm., Kohlensäure 0,107 Ccm.]

Gewinnung des Gases.		Volum.	Druck.	Temp.	Reducirtes Volum. (0^0. 1 m.)	Bestandtheile in Ccm.	
1. Portion. In $4^1/_2$ Stunden erhalten; Gasentwicklung nicht beendigt.	Gesammtgas, Rohr 12	18,3	0,6448	12,7	11,28		Von den in der Kochsalzlösung enthaltenen Gasen sind also nicht wieder erschienen 1,124 Ccm. O. Die Musk. lieferten reine CO_2 0,437 Ccm. = 0.95 Volumprocent d. Muskeln.
	Nach Zusatz von H	75,3	0,7051	14,0	50,51	Gas 3,195	
	Nach Absorpt. d. CO_2	73,3	0,6990	14,9	48,59	CO_2 0,544	
	Im Eudiometer	147,4	0,5742	14,7	80,32	O 0,399	
	Nach Explosion mit Knallgas	135,0	0,5720	14,5	73,33	N+Fehler 2,252	
2. Portion. Nach 5-stündiger Abkühlung auf 0^0, während welcher Zeit kein Gas abgegeben wurde, durch Wiedererwärmen auf 15^0, während 1 Stunde erhalten.	Gesammtgas, Rohr 2	33,6	0,6127	12,7	19,67		In Procenten der Gasportion: CO_2 72,95 N+F. 27,05
	Nach Zusatz von H	79,7	0,6584	14,0	49,92	Gas 4,932	
	Nach Absorpt. d. CO_2	59,1	0.6347	14,9	35,57		
	Im Eudiometer	144,7	0,5118	15,1	70,18	CO_2 3,598	
	Nach Explosion mit Knallgas	145,1	0,5109	15,2	70,23	Kein O. N+F. 1,334	
3. Portion, innerhalb der nächsten 24 Stunden bei 12—15^0 entwickelt.	Gesammtgas, Rohr 7	82,7	0,7249	14,3	56,97		In Procenten der Gasportion: CO_2 46,58 N+F. 53,42
	Nach Absorpt. d. CO_2	45,9	0,6922	12,0	30,44	Gas 17,512	
	Im Eudiometer	94,3	0,4623	11,9	41,7	CO_2 8,155	
	Nach Zusatz von H	176,0	0,5531	12,1	93,22	Kein O.	
	Nach Explosion mit Knallgas	175,3	0,5548	12,0	93,16	N+F. 9,357	

4. Portion, ein Theil der in den nächsten 12 Stunden bei 14—17° entwickelten Gase.	Gesammtgas, Rohr 10	150,5	0,7320	14,3	104,69	Gas 29.086 CO_2 13,424 N+F. 15,662	In Procenten der Gasportion: CO_2 46,16 N+F. 53,84
	Nach Absorpt. der CO_2	87,6	0,6717	12,0	56,37		
	Auf Sauerstoff nicht mehr untersucht.						
5. Portion. Vom 3. Tage, riecht faulig.	Gesammtgas, Rohr 2	102,2	0,6709	17,0	64,55		In Proc. d. Gasport. Durch Kali absorbirbar 82,00 nicht „ 18,09
	Nach Behandlg. m. Kali	20,0	0,6142	15,7	11,62		
6. Portion. Fäulnissgas vom 6. Tage.	Gesammtgas, Rohr 2	75,2	0,6621	17,6	46,78		In Proc. d. Gasvol. CO_2 84,62 H_2S 0,94 N+F. 14,44
	Nach Behandlg. mit Mangansuperoxyd u. Phosphorsäure	74,6	0,6598	16,9	46,35		
	Nach Behandlg. m. Kali	11,7	0,6108	15,9	6,75		
7. Portion. Fäulnissgas vom 8. Tage.	Gesammtgas, Rohr 2	141,5	0,7302	18,3	96,84		In Proc. d. Gasvol. C_2O, H_2S 80.08 N+F. 19,92
	Nach Behandlg. m. Kali	32,4	0,6240	13,1	19,29		
8. Portion. Fäulnissgas vom 11. Tage.	Gesammtgas, Rohr 2	109,6	0,6855	14,7	71,30		In Proc. d. Gasvol. CO_2, H_2S 75,00 N+F. 25,00
	Nach Behandlg. m. Kali	30,8	0,6150	17,2	17,82		
9. Portion. Fäulnissgas vom 12. Tage.	Gesammtgas, Rohr 12	58,2	0,6845	14,7	37,80		In Proc. d. Gasvol. CO_2, H_2S 75,84 N+F. 24,16
	Nach Behandlg. m. Kali	14,8	0,6559	17,2	9,13		

Versuch abgebrochen. Inhalt der Flasche stark sauer, zahllose Vibrionen. Die Flüssigkeit riecht beim Eintrocknen hefenartig.

Versuch 2. (Vgl. S. 9.) Aus 44,2 grm. (= 41,78 Ccm.) Muskeln wird Muskelschnee bereitet und in gasfreie Kochsalzlösung gebracht. Entgasung bei 10—15°.

Gewinnung des Gases.		Volum.	Druck.	Temp.	Reducirtes Volum. (0°. 1 m.)	Bestandtheile in Ccm.	
1. Portion. Durch 3stündiges Auskochen bei 10—15° erhalten (Gasentwicklung noch in langsamem Gange).	H in Rohr 2	95,0	0,6698	14,1	60,51		100 Ccm. Muskeln lieferten spontan in 3 Stunden CO_2 1,54 Ccm. N + F. 0,49 „ keinen O,
	+ Gesammtgas	101,2	0,6701	17,0	63,84	Gas 0,835	
	Nach Absorpt. d. CO_2	97,2	0,6694	16,9	61,28	CO_2 0,647	
	Im Eudiometer	177,9	0,6041	16,7	101,28	kein O.	
	Nach Explosion mit Knallgas	180,0	0,5999	16,4	101,87	N + F. 0,188	
2. Portion. Durch Zusatz von Phosphorsäure bei starkem Erwärmen im Ganzen gewonnen.	Luft in Rohr 12	62,6	0,6921	14,1	41,20		auf Zusatz v. Säure CO_2 0,996 Ccm. N + F. 0,211 „
	Nach Zulassung des Gases	65,2	0,7001	17,0	42,98	Gas 0,504	
	Nach Absorpt. d. CO_2	63,6	0,6897	16,9	41,31	CO_2 0,416	
						N + F. 0,088	

Weiteres Auskochen, auch am folgenden Tage, liefert kein Gas mehr.

Versuch 3. (Vgl. S. 9.) Aus 41,4 grm. (= 39,13 Ccm.) Muskeln Muskelschnee bereitet In gasfreier Kochsalzlösung schnell bei 50° ausgekocht.

1. Portion. Bis zum vollständigen Aufhören der Gasentwicklung, innerhalb $1^1/_2$ Stunden.	Gesammtgas, Rohr 9	13,5	0,5011	19,8	6,31		100 Ccm. Muskel lieferten Ccm. CO_2 4,06 N + F. 1,05 5,11
	Nach Zusatz von H	97,6	0,5642	19,1	51,47	Gas 1,999	
	Nach Absorpt. d. CO_2	88,8	0,5600	19,4	46,43	CO_2 1,588	
	Im Eudiometer	132,6	0,5671	20,0	70,07	kein O.	
	Nach Explosion mit Knallgas	132,3	0,5680	20,1	70,00	N + F. 0,411	

2. Portion. Nachdem nach 3 Stunden die Gasentwicklung wieder begonnen, Tags darauf in 1 Stunde gesammelt.	Gesammtgas, Rohr 2	44,9	0,5872	22,3	24,38		In Procenten der Gasportion: CO_2 57,43 N + F. 42,57 kein O.
	Nach Abs. d. CO_2	19,1	0,5875	22,0	10,38		
	Im Eudiometer	33,9	0,4633	21,3	14,57		
	Nach Zusatz von H	101,0	0,5286	21,8	49,44		
	Nach Explos. m. Knallg.	100,8	0,5306	22,0	49,50		
3. Portion. Fäulnissgas vom 3. Tage.	Gas in Rohr 4 (Ccm.)	39,6	0,7445	22,5	27,24		In Procenten der Gasportion: CO_2 51,58 N + F. 48,42
	Nach Behandl. mit Kali	21,3	0,6742	24,3	13,19		
4. Portion. Fäulnissgas vom 4. Tage.	Gas in Rohr 4 (Ccm.)	36,2	0,7445	22,5	24,90		In Procenten der Gasportion: CO_2 49,20 N + F. 50,80
	Nach Behandl. mit Kali	21,0	0,6559	24,4	12,65		
5. Portion. Fäulnissgas vom 10. Tage.	Gas in Rohr 2	132,4	0,7051	23,1	86,08		In Procenten der Gasportion: CO_2, H_2S 74,87 N + F. 25,13
	Nach Behandl. mit Kali	40,1	0,5852	23,5	21,61		

Versuch abgebrochen. Inhalt der Flasche wie bei Versuch 1.

Versuch 4. (Vgl. S. 9 ff.) Muskelschnee, 15,85 grm. (= 14,98 Ccm.), in gasfreier Kochsalzlösung schnell bei 45° ausgekocht.

Gesammtgas, bis zum Aufhören der primären Entwicklung, in 3/4 St.	H in Rohr 2	118,5	0,6812	20,2	75,16	Gas 1,339 darin CO_2 1,336 N + F. 0,003 kein O.	100 Vol. Muskel gaben CO_2 8,918 N + F. 0,020 8,938 keinen O.
	Nach Zulassung d. Gases	125,0	0,6905	19,7	80,51		
	Nach Abs. d. CO_2	117,7	0,6841	19,4	75,18		
	Im Eudiometer	118,8	0,5554	22,7	60,92		
	Nach Explos. m. Knallg.	118,8	0,5561	23,0	60,94		

Versuch 5. (Vgl. S. 9 ff.) Muskelschnee 57,3 grm. (= 54,16 Ccm.), in gasfreier Kochsalzlösung bei 50° ausgekocht; nach dem Aufhören der primären Entwicklung Phosphorsäure zugesetzt und bis zum Aufhören der Gasentwicklung bis auf 60° erhitzt.

Gewinnung des Gases.		Volum.	Druck.	Temp.	Reducirtes Volum. (0°. 1 m.)	Bestandtheile in Ccm.	
1. Portion. Vor dem Säurezusatz gewonnen.	H in Rohr 12	52,3	0,6661	17,8	32,71	Gas 7,051	Auspumpbar
	Mit dem Gase	87,6	0,7012	18,1	57,61		CO_2 11,79 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	53,8	0,6914	16,4	35,09	CO_2 6,385	N+F. 1,23 „
	Im Eudiometer	65,6	0,4916	19,0	30,15	N+F. 0,666	kein O.
	Nach Expl. m. Knallg.	65,7	0,4918	19,1	30,20	kein O.	
2. Portion. Nach d. Säurezusatz gewonnen.	H in Rohr 7	38,2	0,5914	17,8	21,21		Durch Säure erhalten:
	Mit dem Gase	44,3	0,6003	18,6	24,90	CO_2 1,105	CO_2 2,04 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	37,6	0,6012	16,4	21,33		
Tags darauf kein Gas im Apparat.						Gesammte CO_2: 7,490 = 13,83 pCt.	

Versuch 6. (Vgl. S. 9.) 34,2 grm. (= 32,33 Ccm.) Muskelschnee in gasfreier Kochsalzlösung bei 0° ausgepumpt, liefert kein Gas. Hierauf wird Phosphorsäure zugelassen; auch dies bewirkt keine Gasentwicklung. Jetzt wird auf 50° erwärmt; es tritt eine schnell vorübergehende Gasentwicklung ein. Tags darauf kein Gas im Apparat.

Gesammtgas, durch Erhitzen der sauren Flüssigkeit gewonnen.	Gas in Rohr 2	28,2	0,6024	15,9	16,05	Gas 4,025	Gesammte Kohlensäure bei 0° 6,87 pCt. der Muskeln.
	Mit Luft	170,1	0,7454	15,9	119,82	CO_2 2,222	
	Nach Abs. d. CO_2	159,2	0,7414	17,4	110,96	N+F. 1,803	

Versuch 7. (Vgl. S. 9 ff.) 33,3 grm. (= 31,47 Ccm.) Muskelschnee in lufthaltiger Kochsalzlösung bei unvollständiger Füllung von f nach längerem Erwärmen auf 45°, bei 70° vollständig evacuirt, dann Säure zugelassen. Nur die Kohlensäure bestimmt.

1. Portion, die auspumpbare Kohlensäure enthaltend.	Gas in Rohr 5	83,1	0,6054	17,1	47,35	Auspumpbare Kohlensäure	
	Nach Abs. d. $\mathrm{CO_2}$	67,8	0,6003	15,1	38,57	3,199 Ccm.	10,165 pCt. der Muskeln.
2. Portion, nach d. Säurezusatz gewonnen.	Gas mit Luft in Rohr 2	33,1	0,6215	15,7	19,45	Fest gebundene Kohlensäure	
	Nach Abs. d. $\mathrm{CO_2}$	30,2	0,6332	15,4	18,10	0,339 Ccm.	1,077 pCt. der Muskeln.

Versuch 8. (Vgl. S. 12.) 25,0 grm. (= 23,63 Ccm.) Muskeln in der S. 12 beschriebenen Weise gebrüht, wobei keine merkliche Gasentwicklung stattfindet, zerkleinert, mit lufthaltiger Kochsalzlösung in die Flasche gebracht und bei 60° vollkommen evacuirt; dann Phosphorsäure zugesetzt, wieder erwärmt, und das hierbei entweichende Gas aufgefangen (fest gebundene Kohlensäure).

	H in Rohr 12	72,8	0,7150	16,3	49,12		
	Mit dem Gase	74,1	0,7144	14,8	50,22	$\mathrm{CO_2}$ 0,289	Festgebundene $\mathrm{CO_2}$ 1,22 pCt.
	Nach Abs. d. $\mathrm{CO_2}$	72,0	0,7201	14,7	49,20		

Versuch 9. Ebenso wie der vorige, mit 19,7 grm. (= 18,62 Ccm.), jedoch wird die Zerkleinerung im gefrorenen Zustande vorgenommen, und auch die nach Eröffnung des Hahns erhaltene Luft aus der Kochsalzlösung auf Kohlensäure untersucht.

1. Portion. Luft vom Auskochen der Muskeln vor dem Säurezusatz.	Rohr 2	118,9	0,6615	19,4	73,41		
	Nach Abs. d. $\mathrm{CO_2}$	114,6	0,6668	19,2	71,39	$\mathrm{CO_2}$ 0,510	Auspumpbare $\mathrm{CO_2}$ 2,74 pCt.

Gewinnung des Gases.		Volum.	Druck.	Temp.	Reducirtes Volum. (0°. 1 m.)	Bestandtheile in Ccm.	
2. Portion. Gas durch Auskochen mit der Phosphorsäure erhalten.	Luft in Rohr 12 Mit dem Gase Nach Abs. d. CO_2	55,8 57,9 55,3	0,6991 0,7024 0,7101	19,4 19,4 19,2	36,42 37,97 36,69	CO_2 0,363	Fest gebundene CO_2 1,95 pCt.

Versuch 10. (Vgl. S. 16 ff.) Von 4 Fröschen werden die Muskeln der einen Seite [20,7 grm. = 19,57 Ccm.] sofort, die der anderen [19,8 grm. = 18,71 Ccm.] nach 5 Minuten langer Erwärmung auf 45°, gebrüht, dann Muskelschnee daraus bereitet und in lufthaltiger Kochsalzlösung zur blossen Kohlensäurebestimmung bei 60° ausgekocht, hierauf unter Zusatz von Phosphorsäure.

1. Frische Muskeln, auspumpbare Kohlensäure.	Gas mit Luft in Rohr 7 Nach Abs. d. CO_2	38,7 35,3	0,6854 0,6920	15,7 16,0	25,08 23,08	CO_2 0,615	3,14 pCt.
2. Frische Muskeln, fest gebundene Kohlensäure.	Gas m. Luft in Rohr 12 Nach Abs. d. CO_2	64,1 62,2	0,6801 0,6884	15,7 16,0	41,23 40,45	CO_2 0,221	1,13 pCt.
3. Starre Muskeln, auspumpbare Kohlensäure.	Gas mit Luft in Rohr 9 Nach Abs. d. CO_2	34,6 26,1	0,6532 0,6516	15,7 16,0	21,37 16,07	CO_2 1,677	8,96 pCt.
4. Starre Muskeln, fest gebundene Kohlensäure.	Gas mit Luft in Rohr 2 Nach Abs. d. CO_2	67,5 66,2	0,6647 0,6686	16,0 16,8	42,39 41,70	CO_2 0,173	0,92 pCt.

Versuch 11. (Vgl. S. 21.) 3 Froschschenkelpaare in der im Text beschriebenen Weise in die Kochflasche eingeführt, auf dem Boden derselben etwas Kochsalzlösung. Temperatur 16°. Nachdem so weit evacuirt ist, bis die spärliche Gasentwicklung reine Kohlensäure liefert, wird das in 1 Stunde bei beständigem Evacuiren entwickelte Gas in Rohr

12 gesammelt (Portion A), dann eine Stunde lang mit Uhrwerk tetanisirt und das ebenso gesammelte Gas in Rohr 7 eingelassen (B), endlich während der dritten Stunde ebenso, jedoch ohne Tetanisiren, in Rohr 9 (C). — Die herausgenommenen Muskeln sind noch erregbar.

Portion A. Vor dem Tetanus.	Gas + Luft in Rohr 12	48,9	0,6801	15,1	31,52	CO_2 0,521
	Nach Abs. d. CO_2	46,0	0,6814	15,3	29,68	
Portion B. Während des Tetanus.	Gas + Luft in Rohr 7	68,5	0,6915	15,1	44 89	CO_2 1,676
	Nach Abs. d. CO_2	60,4	0,6903	15,3	39,48	
Portion C Nach dem Tetanus.	Gas + Luft in Rohr 9	68,0	0,6502	15,1	41,90	CO_2 1,413
	Nach Abs. d. CO_2	60,8	0,6499	15,3	37,42	

Versuch 12. Ebenso wie der vorige, mit 2 Fröschen. Temperatur 20°.

Portion A. Vor dem Tetanus.	Gas + Luft in Rohr 12	80,2	0,7018	16,0	53,17	CO_2 0,332
	Nach Abs. d. CO_2	78,2	0,7027	15,6	51,98	
Portion B. Während des Tetanus.	Gas + Luft in Rohr 7	73,8	0,6899	16,0	48,10	CO_2 1,043
	Nach Abs. d. CO_2	68,5	0,6901	15,6	44,72	
Portion C. Nach dem Tetanus.	Gas + Luft in Rohr 9	92,6	0,6954	16,0	60,83	CO_2 1,281
	Nach Abs. d. CO_2	86,7	0,6921	15,6	56,77	

Die herausgenommenen Muskeln sind starr und sauer.

Versuch 13. (Vgl. S. 23.) 4 in Schnee erstarrte Frösche werden mit kalter Kochsalzlösung entblutet, je ein Schenkel sofort in siedende Flüssigkeit geworfen, das andere erst nach 3stündigem Tetanisiren (mit Uhrwerk). Die Muskeln werden gleich nach dem Brühen abpräparirt, gewogen und in Muskelschnee verwandelt, welcher auf auspumpbare und fest gebundene Kohlensäure untersucht wird. Gewicht der frisch gebrühten Muskeln 22,1 grm. (= 20,89 Ccm.), der nach dem Tetanus gebrühten Muskeln 22,4 grm. (= 21,17 Ccm.).

Gewinnung des Gases.		Volum.	Druck.	Temp.	Reducirtes Volum. (0°. 1 m.)	Bestandtheile in Ccm.	
1. Ruhende Muskeln, auspumpbare Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 7	23,6	0,6482	14,7	14,52		
	Nach Abs. d. CO_2	20,5	0,6498	15,0	12,63	CO_2 0,581	2,78 pCt.
2. Ruhende Muskeln, fest gebundene Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 12	18,8	0,6451	14,7	11,51		
	Nach Abs. d. CO_2	16,2	0,6402	15,0	9,83	CO_2 0,473	2,26 pCt.
3. Tetanisirte Muskeln, auspumpbare Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 9	30,8	0,6080	14,7	17,77		
	Nach Abs. d. CO_2	23,3	0,6097	15,0	13,47	CO_2 1,366	6,45 pCt.
4. Tetanisirte Muskeln, fest gebundene Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 2	48,2	0,6285	14,7	28,75		
	Nach Abs. d. CO_2	45,7	0,6231	15,0	26,99	CO_2 0,441	2,08 pCt.

Versuch 14. Wie der vorige. 3 Frösche. Gewicht der ruhenden Muskeln 13,4 grm. (= 12,67 Ccm.), der tetanisirten 20,2 grm. (= 19,09 Ccm.). Dauer des Tetanus $3^3/_4$ Stunden.

1. Ruhend. Auspumpbare Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 7	25,0	0,6703	16,2	15,82		
	Nach Abs. d. CO_2	22,8	0,6715	14,0	14,57	CO_2 0,381	3,01 pCt.
2. Ruhend. Fest geb. Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 12	30,8	0,6602	16,2	19,20		
	Nach Abs. d. CO_2	26,9	0,6649	14,0	17,01	CO_2 0,620	4,90 pCt.
3. Tetanisirt. Auspumpbare Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 9	34,7	0,6119	16,2	20,04		
	Nach Abs. d. CO_2	27,0	0,6011	14,0	15,44	CO_2 1,462	7,66 pCt.
4. Tetanisirt. Fest geb. Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 2	29,1	0,6142	16,2	16,87		
	Nach Abs. d. CO_2	23,1	0,6146	14,0	13,51	CO_2 0,843	4,42 pCt.

Versuch 15. Wie die vorigen. 3 Frösche. Gewicht der ruhenden Muskeln 17,3 grm. (= 16,35 Ccm.), der tetanisirten 18,1 grm. (= 17,11 Ccm.). Dauer des Tetanus $3^1/_4$ Stunden. Nur die auspumpbare Kohlensäure bestimmt.*)

1. Ruhend. Auspumpbare Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 7	84,2	0,7312	16,4	58,08	CO_2 0,324	1,98 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	82,8	0,7296	16,1	57,05		
2. Tetanisirt. Auspumpbare Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 9	93,9	0,6970	16,4	61,74	CO_2 1,189	6,95 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	89,0	0,6898	16,1	57,98		

Versuch 16. (Vgl. S. 25.) 3 Frösche in der Kälte entblutet; der eine Schenkel durch 5 Minuten langes Erwärmen auf 45° starr gemacht, dann gebrüht, die gewogenen Muskeln in Schnee verwandelt und beide Kohlensäurearten bestimmt. Der andre Schenkel ebenso behandelt, aber statt des Erwärmens auf 45°, 3 Stunden lang bei 0° tetanisirt. Gewicht der wärmestarren Muskeln 15,9 grm. (= 15,03 Ccm.), der tetanisirten 16,8 grm. (= 15,88 Ccm.).

1. Wärmestarr. Auspumpbare Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 7	92,6	0,7481	18,0	64,99	CO_2 1,399	9,31 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	87,1	0,7390	17,6	60,47		
2. Wärmestarr. Fest gebundene Kohlens.	Gas + Luft in Rohr 12	98,9	0,7373	18,0	68,41	CO_2 0,313	2,08 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	97,4	0,7355	17,6	67,30		
3. Tetanisirt. Auspumpbare Kohlens.	Gas + Luft in Rohr 9	67,1	0,6654	18,0	41,89	CO_2 0,950	5,98 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	61,5	0,6721	17,6	38,83		
4. Tetanisirt. Fest gebundene Kohlens.	Gas + Luft in Rohr 2	42,2	0,5808	18,0	22,99	CO_2 0,335	2,11 pCt.
	Nach Abs. d. CO_2	39,9	0,5786	17,6	21,69		

Versuch 17. (Vgl. S. 26.) Von 3 Fröschen das eine Bein sogleich, das andre nach $2^1/_2$stündigem Tetanisiren bei 0°, wärmestarr gemacht und die gebrühten Muskeln zur Zerkleinerung in Eis verwandelt. Kohlensäurebestimmung. Gewicht der geruhten wärmestarren Muskeln 16,2 grm. (= 15,31 Ccm.), der tetanisirten wärmestarren Muskeln 17,1 grm. (= 16,16 Ccm.).

*) Die Bestimmung der fest gebundenen durch einen Unfall bei der einen Portion misslungen.

Gewinnung des Gases.		Volum.	Druck.	Temp.	Reducirtes Volum. (0°. 1 m.)	Bestandtheile in Ccm.	
1. Geruht, wärmestarr, auspumpb. Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 2	97,3	0,6598	15,0	60,86		
	Nach Abs. d. CO_2	87,5	0,6649	13,7	55,40	CO_2 1,369	8,94 pCt.
2. Dieselben, fest gebundene Kohlens.	Gas + Luft in Rohr 12	79,3	0,6945	15,0	52,21		
	Nach Abs. d. CO_2	76,3	0,6941	13,7	50,43	CO_2 0,504	3,29 pCt.
3. Tetanisirt, wärmestarr, auspumpb. Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 5	88,9	0,5926	15,0	49,94		
	Nach Abs. d. CO_2	81,5	0,6019	13,7	46,72	CO_2 1,172	7,31 pCt.
4. Dieselben, fest gebundene Kohlens.	Gas + Luft in Rohr 7	88,1	0,7214	13,7	60,52		
	Nach Abs. d. CO_2	85,6	0,7340	15,6	59,44	CO_2 0,332	2,05 pCt.

Versuch 18. Wie der vorige. 4 Frösche. Gewicht der sogleich wärmestarr gemachten Muskeln 21,9 grm. (= 20,70 Ccm.), der nach dem Tetanus wärmestarr gemachten 21,2 grm. (= 20,04 Ccm.). Dauer des Tetanus 3 Stunden. Nur die auspumpbare Kohlensäure bestimmt.

1. Geruht, wärmestarr, auspumpb. Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 2	55,5	0,6261	19,1	32,48		
	Nach Abs. d. CO_2	42,3	0,6266	16,0	25,04	CO_2 1,866	9,01 pCt.
2. Tetanisirt, wärmestarr, auspumpb. Kohlensäure.	Gas + Luft in Rohr 5	114,2	0,5740	19,1	61,27		
	Nach Abs. d. CO_2	104,6	0,5802	16,0	57.33	CO_2 1,435	7,16 pCt.

2. Reihe. Respirationsversuche.

(Vgl. den zweiten Abschnitt; über die Methoden s. S. 32 ff.)

Versuch 19. (Vgl. S. 33 und 35.) Einfluss der Fäulniss. Stickstoffabgabe bei derselben. Die Muskeln wurden in gemessene Volumina von electrolytischem Knallgas eingeführt, mit fast vollkommener Vermeidung des Lufteintritts (vgl. S. 34 Anm.).

Frische Muskeln 1,488 grm. = 1,406 Ccm. in Rohr 1.
Faule „ 1,540 „ = 1,456 „ „ 2.
Dauer der Athmung 14 h. 30 m. 22—25°.

	Volum	Druck	Tp.	Reduc. Volum. (0°. 1 m.)	Bestandtheile in Ccm.
1. Knallg. in Rohr 1	228,2	0,6501	23,7	136,52	Gebildete $\text{€}\Theta_2$ 1,229 Ccm.
Nach d. Athmung	228,3	0,6489	24,0	136,19	Θ war vorhanden 7,622 „
Nach Abs. d. $\text{€}\Theta_2$	218,2	0,6400	22,9	128,85	Nach d. Athmung: 6,404 „
Im Eudiometer	200,4	0,6102	23,0	112,78	Verzehrter Θ 1,218 „
Nach Explosion	29,3	0,4668	23,3	12,60	Hieraus berechnet sich eine Volumzunahme von 0,011 Ccm.; wirkliche Volumzunahme nicht vorhanden (Abnahme 0,055), also kein N abgegeben.
2. Knallg. in Rohr 2	129,1	0,6722	23,7	79,87	Gebildete $\text{€}\Theta_2$ 1,402 Ccm.
Nach d. Athmung	127,3	0,6700	24,0	78,41	Θ war vorhanden 7,675 „
Nach Abs. d $\text{€}\Theta_2$	119,1	0,6627	22,9	72,82	Nach d. Athmung: 4,782 „
Im Eudiometer	153,7	0,5820	24,0	82,23	Verzehrter Θ 1,893 „
Nach Explosion	18,4	0,4501	24,0	7,61	Hieraus berechnet sich eine Volumabnahme von 0,491 Ccm.; wirkliche Volumabnahme 0,366, also 0,125 Ccm. N abgegeben.

	Verzehrter Θ		Abgegebene $\text{€}\Theta_2$		Abgegebener N	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1,406 Ccm. frische Muskeln	1,218	86,63	1,229	87,39	0	0
1,456 „ faule „	1,893	130,05	1,402	96,32	0,125	8,59

Die grossen Procentzahlen, im Vergleich mit den später bei grösseren Muskelmassen vorkommenden, zeigen den Einfluss der Oberfläche.

Versuch 20. Einfluss der Oberfläche und der Fäulniss.

1) Frische Muskeln 0,666 grm. = 0,629 Ccm. in Rohr 1.
2) Frische „ 2,649 „ = 2,504 „ „ 2.
3) Faule „ 3,069 „ = 2,901 „ „ 3.

Dauer der Athmung in Knallgas 15 h. 30 m. 20—22°.

1. Knallg. in Rohr 1	226,1	0,6590	22,2	137,80	Abgegebene $\text{€}\Theta_2$ 0,754 Ccm.
Nach d. Athmung	223,2	0,6543	21,7	135,29	Θ war vorhanden 7,692 „
Nach Abs. d. $\text{€}\Theta_2$	218,2	0,6481	22,2	130,79	Nach d. Athmung: 6,828 „
Im Eudiometer	209,9	0,6344	22,4	123,09	Verzehrter Θ 1,864 „
Nach Explosion	19,1	0,4517	22,1	7,98	

2. Knallg. in Rohr 2	147,8	0,7016	22,2	95,49	Abgegebene CO_2	0,958 Ccm.
Nach d. Athmung	147,4	0,6980	21,7	95,32	O war vorhanden	7,981 „
Nach Abs. d. CO_2	142,8	0,6982	22,2	91,50	nach der Athmung	6,853 „
Im Eudiometer	193,6	0,6234	22,4	111,55	Verzehrter O	1,128 „
Nach Explosion	27,3	0,4585	22,1	11,58		
3. Knallg. in Rohr 3	131,7	0,6861	22,4	83,52	Abgegebene CO_2	3,819 Ccm.
Nach d. Athmung	127,5	0,6775	22,4	81,70	O war vorhanden	6,981 „
Nach Abs. d. CO_2	106,4	0,6771	22,9	66,47	nach der Athmung	2,174 „
Im Eudiometer	164,1	0,5961	22,4	90,41	Verzehrter O	4,807 „
Nach Explosion	109,9	0,5419	22,5	55,02		

		Verzehrter O		Abgegebene CO_2	
		Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1)	0,629 Ccm. frische Muskeln	0,864	137,26	0,754	119,78
2)	2,504 „ frische „	1,128	45,05	0,958	38,26
3)	2,901 „ faule „	4,807	165,72	3,819	131,66

Man sieht dass die kleine Portion frischer Muskeln ungemein viel grössere Procentzahlen giebt als die grössere, dass aber die Portion fauler Muskeln, obgleich von allen dreien die grösste, also von kleinstem Oberflächenverhältniss, die grössten Procentzahlen von allen liefert.

Versuch 21. 1) Lebende Muskeln 7,491 grm. = 7,081 Ccm. in Rohr 2.
2) Wärmestarre „ 7,891 „ = 7,458 „ „ „ 5.
Dauer der Athmung 16 h. 15 m. 18 — 20°.

Analyse der geathmeten Luft nach dem Versuch.

	Volum	Druck	Tp.	Reduc. Volum. (0°. 1 m.)	In Ccm.	Verzehrter O, nach S. 32 berechnet.
1. Gas in Rohr 2	121,4	0,7110	21,5	80,02	Gas 20,065	Auf 113,66 fehlen 5,04 O, also auf 18,909 0,838 Ccm.
Nach Abs. d. CO_2	113,9	0,7079	18,9	75,41	darin	
Im Eudiometer	192,7	0,6332	20,1	113,66	CO_2 1,156	
+ H	330,7	0,7432	20,8	228,39		
Nach Explosion	259,1	0,7002	20,3	168,87	18,909	
2. Gas in Rohr 5	188,2	0,7128	21,5	124,36	Gas 45,282	Auf 123,69 fehlen 1,54 O, also auf 43,465 0,541 Ccm.
Nach Abs. d. CO_2	178,8	0,7138	18,9	119,37	darin	
Im Eudiometer	238,4	0,5570	20,1	123,69	CO_2 1,817	
+ H	401,7	0,7187	20,8	268,28		
Nach Explosion	323,7	0,6444	20,3	194,16	43,465	

		Verzehrter O		Abgegebene CO_2	
		Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1)	7,081 Ccm. lebende Muskeln	0,838	11,84	1,156	16,32
2)	7,458 „ wärmestarre „	0,541	7,64	1,817	25,66

Versuch 22. 1) Lebende Muskeln 7,398 grm. = 6,993 Ccm. in Rohr 7.
2) Wärmestarre „ 7,445 „ = 7,037 „ „ „ 12.
Dauer der Athmung 15 h. 15 m. 15 — 16°.

1. Gas in Rohr 7	100,4	0,7328	17,0	69,26		
Uebergef. in R. 10	117,3	0,6776	15,2	75,23	Gas 21,290	Auf 117,47 fehlen 7,73 O, also auf 20,551 1,352 Ccm.
Nach Abs. d. CO_2	112 4	0,6851	16,5	72,62	darin	
Im Eudiometer	191,3	0,6500	16,0	117,47	CO_2 0,739	
+ H	301,2	0,7509	16,2	213,52	20,551	
Nach Explosion	239,1	0,6987	15,7	157,98		
2. Gas in Rohr 12	99,6	0,7347	17,0	68,89		
Uebergef. in R. 2	112,2	0,7231	15,2	76,86	Gas 19,515	Auf 80,39 fehlen 4,78 O, also auf 18,268 1,086 Ccm.
Nach Abs. d. CO_2	104,9	0 7274	16,5	71,96	darin	
Im Eudiometer	202,6	0,4200	16,0	80,39	CO_2 1,247	
+ H	360,6	0,5775	16,2	196,59	18,268	
Nach Explosion	313,1	0,5315	15,7	157,37		

	Verzehrter O		Abgegebene CO_2	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1) 6,993 Ccm. lebende Muskeln	1,352	19,34	0,739	10,56
2) 7,037 „ wärmestarre „	1,086	15,44	1,247	17,71

Versuch 23. 1) Lebende Muskeln 7,352 grm. = 6,948 Ccm. in Rohr 12.
2) Wärmestarre „ 7,631 „ = 7,213 „ „ „ 7.
Dauer der Athmung 19 h. 15 m. 14—17°.

1. Gas in Rohr 12	90,5	0,7376	17,1	62,82		
Uebergef. in R. 2	99,9	0,6954	17,3	65,33	Gas 17,796	Auf 93,43 fehlen 6,94 O, also auf 17,191 1,277 Ccm.
Nach Abs. d. CO_2	95,0	0,7037	16,2	63,11	darin	
Im Eudiometer	163,2	0,6060	16,0	93,43	CO_2 0,605	
+ H	279,9	0,7243	15,6	191,78	17,191	
Nach Explosion	233,7	0,6747	15,0	149,47		
2. Gas in Rohr 7	97,4	0,7429	17,1	68,10		
Uebergef. in R. 9	95,0	0,6985	17,3	62,41	Gas 20,933	Auf 75,01 fehlen 4,28 O, also auf 19,749 1,127 Ccm.
Nach Abs. d. CO_2	88,3	0,7063	16,2	58,88	darin	
Im Eudiometer	198,4	0,4002	16,0	75,01	CO_2 1,184	
+ H	336,5	0,5405	15,6	172,06	19,749	
Nach Explosion	290,1	0,4910	15,0	135,03		

	Verzehrter O		Abgegebene CO_2	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1) 6,948 Ccm. lebende Muskeln	1,277	18,37	0,605	8,70
2) 7,213 „ wärmestarre „	1,127	15,62	1,184	16,41

Versuch 24. (Nicht entblutete Muskeln.)
1) Lebende Muskeln 6,507 grm. = 6,150 Ccm. in Rohr 12.
2) Wärmestarre „ 6,440 „ = 6,087 „ „ „ 7.
Dauer der Athmung 15 h. 45 m. 17—19°.

1. Gas in Rohr 12	98,8	0,7182	19,8	66,16		
Uebergef. in R. 9	94,4	0,6705	18,0	59,38	Gas 18,742	Auf 78,54 fehlen 6,37 O, also auf 17,776 1,442 Ccm.
Nach Abs. d. CO_2	87,4	0,6840	16,8	56,32	darin	
Im Eudiometer	203,4	0,4103	17,1	78,54	CO_2 0,966	
+ H	322,2	0,5308	17,1	160,95	17,776	
Nach Explosion	276,7	0,4864	17,1	126,66		

2. Gas in Rohr 7	98,5	0,7128	19,8	65,47		
Uebergef. in R. 2	116,4	0,7083	18,0	77,35	Gas 20,125	Auf 95,24 fehlen 4,52 Θ, also auf 18,957
Nach Abs. d. $\mathfrak{C}\Theta_2$	107,4	0,7201	16,8	72,86	darin	
Im Eudiometer	165,2	0,6126	17,1	95,24	$\mathfrak{C}\Theta_2$ 1,168	
+ H	263,8	0,7124	17,1	176,86	18,957	0,900 Ccm.
Nach Explosion	206,7	0,6564	17,1	127,69		

	Verzehrter Θ		Abgegebene $\mathfrak{C}\Theta_2$	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1) 6,150 Ccm. lebende Muskeln	1,442	23,44	0,966	15,70
2) 6,087 „ wärmestarre „	0,900	14,77	1,168	19,19

beide nicht entblutet.

Versuch 25. 1) Lebende Muskeln 8,057 grm. = 7,615 Ccm. in Rohr 12.
2) Wasserstarre „ 7,585 „ = 7,169 „ „ „ 7.

Beide von gleichem postmortalem Alter. Wägung gleich nach dem Ausschneiden.

Dauer der Athmung 22 h. 10 m. 11 – 15°.

1. Gas in Rohr 12	85,8	0,7162	12,7	58,72		
Uebergef. in R. 2	96,6	0,6814	15,4	62,31	Gas 16,634	Auf 88,75 fehlen 5,80 Θ, also auf 16,186
Nach Abs. d. $\mathfrak{C}\Theta_2$	92,2	0,6937	15,0	60,63	darin	
Im Eudiometer	156,9	0,5930	13,2	88,75	$\mathfrak{C}\Theta_2$ 0,448	
+ H	256,8	0,6934	14,6	169,03	16,186	1,055 Ccm.
Nach Explosion	203,7	0,6497	11,6	126,96		
2. Gas in Rohr 7	77,9	0,7128	12,7	53,06		Auf 48,06 (mit Berücksichtigung der eingedrungnen Luft, vgl. d. Anm.)
Uebergef. in R. 10	75,5	0,6087	15,4	43,51	Gas 16,310	
Nach Abs. d $\mathfrak{C}\Theta_2$	71,6	0,6217	15,0	42,20	darin	
Im Eudiometer*)	152,5	0,3481	13,2	50,64	$\mathfrak{C}\Theta_2$ 0,491	fehlen 3,40 Θ,
+ H	349,8	0,5464	14,6	181,43	15,809	also auf 15,809
Nach Explosion	315,1	0,5201	11,6	157,21		1,119 Ccm.

	Verzehrter Θ		Abgegebene $\mathfrak{C}\Theta_2$	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1) 7,615 Ccm. lebende Muskeln	1,055	13,86	0,448	5,89
2) 7,169 „ wasserstarre „	1,119	15,61	0,491	6,85

Da beide Muskeln, namentlich die wasserstarren, ziemlich viel Flüssigkeit ausgepresst haben, so ist wegen deren $\mathfrak{C}\Theta_2$-Absorption eine Correctionsrechnung nöthig.

Rohr 12 enthielt 0,567 Ccm. Flüssigkeit, deren $\mathfrak{C}\Theta_2$-Gehalt sich ergiebt**) (Totaldruck 0,7162, Partiardruck der $\mathfrak{C}\Theta_2$ $\frac{0{,}7162 \cdot 0{,}448}{16{,}634}$, Temp. 12,7°) = 0,011 Ccm.

*) Hierbei 2,58 Eud.-Theile Luft eingedrungen (aus dem Reste in Rohr 10 berechnet), welche bei der Berechnung des Sauerstoffdeficits berücksichtigt sind.

**) Der Absorptionscoëfficient der Flüssigkeit für $\mathfrak{C}\Theta_2$ ist gleich dem des Wassers angenommen.

Rohr 7 enthielt 2,398 Ccm. Flüssigkeit, deren $C\Theta_2$-Gehalt sich ergiebt (Partiardruck der $C\Theta_2$ $\frac{0{,}7162 \,.\, 0{,}491}{16{,}310}$, Temp. $12{,}7^0$) = 0,053 Ccm.

Mit dieser Correction ist also die

	abgegebene $C\Theta_2$ Ccm.	pCt.
1) lebende Muskeln	0,459	6,02
2) wasserstarre „	0,544	7,59

Versuch 26. Lebende Muskeln 7,146 grm. = 6,754 Ccm. in Rohr 7.
Wasserstarre „ 6,999 „ = 6,615 „ „ „ 12.
Dauer der Athmung 21 h. 5 m. $16-18^0$.

1. Gas in Rohr 7	87,3	0,7351	16,2	60,58		
Uebergef. in R. 10	106,1	0,6561	16,7	65,60	Gas 18,622	Auf 76,99 fehlen 4,34 Θ, also auf 17,776 1,001 Ccm.
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	100,4	0,6630	17,2	62,62	darin	
Im Eudiometer	201,1	0,4071	17,3	76,99	$C\Theta_2$ 0,846	
+ H	386,8	0,5937	17,2	216,05	17,776	
Nach Explosion	349,8	0,5403	17,0	177,91		
2. Gas in Rohr 12	75 8	0,7192	16,2	51,47		
Uebergef. in R. 2	88,7	0,6893	16,7	57,62	Gas 14,580	Auf 76,74 fehlen 5,48 Θ, also auf 13,489 0,963 Ccm.
Nach Abs d $C\Theta_2$	81,5	0,6952	17,2	53,31	darin	
Im Eudiometer	139,2	0,5862	17,3	76,74	$C\Theta_2$ 1,091	
+ H	266,1	0,7142	17,2	178,79	13,489	
Nach Explosion	226,4	0,6730	16,8	143,55		

	Verzehrter Θ Ccm.	pCt.	Abgegebene $C\Theta_2$ Ccm.	pCt.
6,754 Ccm. lebende Muskeln	1,001	14,82	0,846	12,52
6,615 „ wasserstarre „	0,963	14,56	1,091	16,49

Eine Correction für die absorbirte Kohlensäure, wie die beim vorigen Versuch, ändert die Werthe für die abgegebene $C\Theta_2$ folgendermassen:

	Abgegebene $C\Theta_2$ Ccm.	pCt.
lebende Muskeln	0,859	12,71
wasserstarre „	1,155	17,46

Versuch 27. Vergleichung des Gaswechsels ruhender und tetanisirter Muskeln. Die Reizung geschieht in Pausen mit Uhrwerk.
1) Ruhende Muskeln 9,468 grm. = 8,949 Ccm. in Rohr 7.
2) Tetanisirte „ 9,480 „ = 8,960 „ „ „ 12.
Dauer des Versuchs 3 h. 10 m. $15-16^0$.

1. Gas in Rohr 7	89,8	0,7349	16,8	62,17		
Uebergef. in R. 10	110,6	0,6468	17,0	67,35	Gas 19,110	Auf 83,15 fehlen 2,40 Θ, also auf 18,982 0,548 Ccm.
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	108,1	0,6664	21,0	66,90	darin	
Im Eudiometer	211,6	0,4171	16,8	83,15	$C\Theta_2$ 0,128	
+ H	417,1	0,6235	17,2	244,66	18,982	
Nach Explosion	366,6	0,5733	16,7	198,07		

2. Gas in Rohr 12	97,5	0,7239	16,8	66,49		
Uebergef. in R. 2	111,4	0,7086	17,0	74,32	Gas 18,835	Auf 108,79 fehlen 4,51 Θ, also auf 17.999 0,746 Ccm.
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	106,8	0,7161	21,0	71,02	darin	
Im Eudiometer	181,2	0,6373	16,8	108,79	$C\Theta_2$ 0,836	
+ H	290,7	0,7382	17,2	201,89	17,999	
Nach Explosion	226,7	0,6748	16,7	144,17		

	Verzehrter Θ		Abgegebene $C\Theta_2$	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1) 8,949 Ccm. ruhende Muskeln	0,548	6,12	0,128	1,43
2) 8,960 „ tetanisirte „	0,746	8,33	0,836	9,33

Versuch 28. Um einen etwaigen Einfluss der electrischen Ströme auf die Oberflächenzehrung zu eruiren.

1) 4,754 grm. = 4,493 Ccm. wärmestarre Muskeln in Rohr 12.
2) 4,845 „ = 4,579 „ „ „ „ „ „ 7.

Die zweite Portion, wie zum Tetanisiren mit electrischen Strömen behandelt. — Dauer des Versuchs 7 Stunden. 16—17°.

1. Gas in Rohr 12	88,1	0,7395	18,4	61,04		
Uebergef. in R. 10	109,8	0,6616	18,4	68,06	Gas 17,291	Auf 91,18 fehlen 1,62 Θ, also auf 13,821 0,246 Ccm.
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	89,5	0,6512	19,5	54,40	darin	
Im Eudiometer	223,6	0,4363	19,1	91,18	$C\Theta_2$ 3,470	
+ H	398,1	0,6114	18,9	227,65	13,821	
Nach Explosion	336,5	0,5497	17,0	174,15		
2. Gas in Rohr 7	88,3	0,7425	18,4	61,43		
Uebergef. in R. 2	109,4	0,7108	18,4	72,86	Gas 18,883	Auf 103,71 fehlen 1,97 Θ, also auf 15,604 0,296 Ccm.
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	91,2	0,7073	19,5	60,21	darin	
Im Eudiometer	177,3	0,6252	18,8	103,71	$C\Theta_2$ 3,279	
+ H	291,0	0,7456	18,9	202,93	15,604	
Nach Explosion	223,0	0,6783	17,0	142,40		

	Verzehrter Θ		Abgegebene $C\Theta_2$	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1) 4,493 Ccm. wärmestarre Muskeln ohne Durchströmung	0,246	5,46	3,470	77,24
2) 4,579 Ccm. wärmestarre Muskeln m. Inductionsströmen behandelt .	0,296	6,47	3,279	71,60

Versuch 29. Zu demselben Zweck angestellt. Hier wurde ein lebender und ein wärmestarrer Schenkel in demselben Kreise durchströmt, um zu sehen, ob der letztere dieselbe Erhöhung des Gaswechsels zeigt wie der erstere.

1) Lebende Muskeln 5,976 grm. = 5,648 Ccm. in Rohr 4.
2) Wärmestarre „ 5,799 „ = 5,482 „ „ „ 2.

Dauer der Reizung beider Portionen 4 h. 25 m. 19—20°.

1. Gas in Rohr 4*)	42,624	0,7207	20,7	28,555	Gas 28,555	Auf 97,17 fehlen 1,81 Θ, also auf 26,836 0,500 Ccm.
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	41,385	0,7016	22,4	26,836	darin	
Im Eudiometer	205,8	0,5134	22,7	97,17	$C\Theta_2$ 1,719	
+ H	384,4	0,6910	22,9	245,08	26,836	
Nach Explosion	323,7	0,6308	23,1	188,27		
2. Gas in Rohr 2	133,7	0,7077	20,7	87,96	Gas 22,056	Auf 67,58 fehlen 0,70 Θ, also auf 21,040 0,218 Ccm.
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	128,7	0,7054	22,4	83,91	darin	
Im Eudiometer	129,6	0,5648	22,7	67,58	$C\Theta_2$ 1,016	
+ H	262,6	0,6985	22,9	169,24	21,040	
Nach Explosion	214,5	0,6492	23,1	128,40		

	Verzehrter Θ		Abgegebene $C\Theta_2$	
	Ccm.	pCt.	Ccm.	pCt.
1) 5,648 Ccm. lebende Muskeln, tetanisirt	0,500	8,85	1,719	30,44
2) 5,482 „ wärmestarre Muskeln, von denselben Strömen durchflossen	0,218	3,97	1,016	18,54

Versuch 30. Zur Ermittelung des Einflusses der Oberflächenverschiebung (vgl. S. 40). Von zwei lebenden Schenkeln wird der eine mit Metronom in kurzen Pausen zum Zucken gebracht, der andre nicht tetanisirt, aber das unter Quecksilber verkorkte Rohr mit dem eingeschlossenen Quecksilber ab und zu (bei jedem Vorschieben der secundären Spirale) umgeschüttelt.

1) Gereizte Muskeln 9,376 grm. = 8,862 Ccm. in Rohr 7.
2) Ruhende (geschüttelte) „ 9,202 „ = 8,698 „ „ „ 12.

Dauer des Versuchs 3 h. 45 m. 14 — 16°.

1. Gas in Rohr 7	95,9	0,7348	15,3	66,73	Gas 20,512	Auf 116,97 (mit Berücksichtigung der eingedrungnen Luft, vgl. d. **Anm.) fehlen 4,16 Θ, also auf 19,855 0,706 Ccm.
Uebergef. in R. 5	91,1	0,6440	15,2	55,58	darin	
Nach Abs. d. $C\Theta_2$	87,1	0,6550	16,5	53,80	$C\Theta_2$ 0,657	
Im Eudiometer**)	211,8	0,6734	15,6	134,92	19,855	
+ H	326,9	0,7507	15,7	232,07		
Nach Explosion	238,7	0,7005	17,6	157,09		
2. Gas in Rohr 12	87,1	0,7351	15,3	60,77	Gas 17,215	Auf 72,92 (mit Berücksichtigung d. eingedrungnen Luft vgl. die ***Anm.) fehlen 2,94 Θ, also auf 16,821 0,678 Ccm.
Uebergef. in R. 9	80,4	0,6992	15,2	53,25	darin	
Nach Abs. d. CO_2	77,6	0,7110	16,5	52,03	$C\Theta_2$ 0,394	
Im Eudiom.***)	299,6	0,5207	15,6	147,58	16,821	
+ H	474,0	0,6959	15,7	311,94		
Nach Explosion	392,5	0,6132	17,6	226,12		

*) Die Volumina bei Rohr 4 sind Cubikcentimeter.

**) Hierbei 17,95 Eud.-Th. Luft eingedrungen (aus dem Rest in Rohr 5 berechnet), welche bei der Berechnung des Sauerstoffdeficits berücksichtigt sind.

***) Hierbei 74,66 Eud.-Th. Luft eingedrungen (aus dem Rest in Rohr 9 berechnet), welche bei der Berechnung des Sauerstoffdeficits berücksichtigt sind.

	Verzehrter Θ Ccm.	pCt.	Abgegebene $\mathfrak{C}\Theta_2$ Ccm.	pCt.
1) 8,862 Ccm. gereizte Muskeln	0,706	7,96	0,657	7,41
2) 8,698 „ ruhende Muskeln (geschüttelt)	0,678	7,80	0,394	4,54

Durch das Schütteln ist also die Θ-Aufnahme der ruhenden Muskeln ebenso hoch getrieben worden, wie die der gereizten.

Versuch 31. Zu demselben Zweck. Jedoch geschah hier das Schütteln der ruhenden Muskeln häufiger als beim vorigen Versuch (nämlich 2 mal zwischen je zwei Vorschiebungen der secundären Rolle).

1) Gereizte Muskeln . . 5,809 grm. = 5,490 Ccm. in Rohr 12.
2) Ruhende (häufig geschüttelte Muskeln . . 5,825 „ = 5,506 „ „ „ 7.

Dauer des Versuchs 2 h. 35 m. 15,5—16,5°.

1. Gas in Rohr 12	96,4	0,7346	16,6	66,77		
Uebergef. in R. 2	111,3	0,7081	16,7	74,27	Gas 18,915	Auf 107,58 fehlen 0,8 Θ, also auf 18,294 0,136 Ccm.
Nach Abs. d. $\mathfrak{C}\Theta_2$	105,8	0,7191	16,2	71,83	darin	
Im Eudiometer	181,0	0,6307	16,7	107,58	$\mathfrak{C}\Theta_2$ 0,621	
+ H	301,1	0,7427	16,8	210,67	18,294	
Nach Explosion	229,0	0,6793	16,7	146,60		
2. Gas in Rohr 7	101,7	0,7377	16,6	70,73		
Uebergef. in R. 10	123,5	0,6707	16,7	78,06	Gas 21,742	Auf 90,75 fehlen 1,04 Θ, also auf 21,230 0,243 Ccm.
Nach Abs. d. $\mathfrak{C}\Theta_2$	119,1	0,6779	16,2	76,22	darin	
Im Eudiometer	222,8	0,4322	16,7	90,75	$\mathfrak{C}\Theta_2$ 0,512	
+ H	406,8	0,6160	16,8	236,08	21,230	
Nach Explosion	346,7	0,5554	16,7	181,47		

	Verzehrter Θ Ccm.	pCt.	Abgegebene $\mathfrak{C}\Theta_2$ Ccm.	pCt
1) 5,490 Ccm. gereizte Muskeln	0,136	2,47	0,621	11,31
2) 5,506 „ ruhende (häufig geschüttelte) Muskeln	0,243	4,41	0,512	9,31

Häufiges Schütteln hat also die Θ-Aufnahme der ruhenden Muskeln selbst über die der gereizten hinaufgetrieben.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.